

# Energieberatungsbericht zum Universitätsgebäude Technik III/2, Kassel

**Durchgeführt im Rahmen des Projektes:  
Bausteine für die CO<sub>2</sub>-Neutralität im Liegenschaftsbestand  
hessischer Hochschulen**

Stand: 13.08.2012

Erstellt durch:

Universität Kassel, Fachgebiet Technische Gebäudeausrüstung

Gottschalkstraße 28

34127 Kassel

Projektleitung: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Förderung: Hessisches Ministerium der Finanzen

## Impressum

Projekt	Bausteine für die CO <sub>2</sub> -Neutralität im Liegenschaftsbestand hessischer Hochschulen
Kurztitel	<b>CO<sub>2</sub>nHS</b>
Gefördert durch	Hessisches Ministerium der Finanzen
Projektteilnehmer	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Institut Wohnen und Umwelt – IWU (Projektleitung)</li> <li>• Universität Kassel, Fachgebiet Technische Gebäudeausrüstung</li> </ul>
Geschäftsadresse	Institut Wohnen und Umwelt GmbH Rheinstraße 65 64295 Darmstadt  Tel. +49 (0) 6151 / 2904 -0 Fax +49 (0) 6151 / 2904 -97
Autoren	Niklas Alsen, Jens Knissel
Dokument	2012-11-26_Standardbericht_Technik_III-2

### Dieser Energieberatungsbericht wurde erstellt durch:

Universität Kassel, FG Technische Gebäudeausrüstung

Prof. Dr.-Ing. Jens Knissel

Gottschalkstraße 28

34127 Kassel

Tel: 0561 804 2779

e-mail: knissel@uni-kassel.de

Datum, Kassel

Datum, Ort

Unterschrift, Stempel



## Inhalt

<b>1 Zusammenfassung</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Einleitung und Aufgabenstellung</b> .....	<b>4</b>
<b>3 Projekt- und Gebäudebeschreibung</b> .....	<b>5</b>
<b>4 Bewertung des Ist-Zustandes</b> .....	<b>7</b>
4.1    Gemessene Verbrauchsdaten.....	7
4.2    Lastganganalysen.....	10
4.2.1    Lastganganalyse Fernwärme.....	10
4.2.2    Lastganganalyse elektrische Energie.....	11
4.3    Rechnerische Bilanzierung des Energieaufwandes des Gebäudes.....	13
4.3.1    Vergleich der Berechnung mit dem gemessenen Verbrauch.....	13
4.3.2    Berechnete Energiekennwerte.....	15
<b>5 Gebäudeanalyse über Teilenergiekennwertbewertung</b> .....	<b>18</b>
<b>6 Modernisierungsempfehlungen</b> .....	<b>20</b>
6.1    Modernisierungsempfehlung 1: Betriebsoptimierung.....	20
6.2    Modernisierungsempfehlung 2: Lüftung.....	22
6.3    Modernisierungsempfehlung 3: Beleuchtung.....	24
6.4    Modernisierungsempfehlung 4: Betriebsoptimierung + Lüftung + Beleuchtung.....	25
6.5    Zusammenfassung und Vergleich.....	26
<b>7 Durchgeführte Messungen</b> .....	<b>28</b>
7.1    Bestimmung von mittleren Raumtemperaturen und relativen Feuchten.....	28
7.2    Leistungsmessung von Lüftungsanlagen.....	30
<b>8 Anhang: Literatur</b> .....	<b>32</b>
<b>9 Anhang: Datenerhebung</b> .....	<b>33</b>
9.1    Vom Eigentümer zur Verfügung gestellte Unterlagen.....	33
9.2    Annahmen aufgrund fehlender Daten.....	34
9.3    Grobauslegung der Luftmengen für ME 2: Lüftung.....	35
<b>10 Anhang: TEK – Bewertung je Nutzungseinheit</b> .....	<b>38</b>
<b>11 Anhang: TEK – Bewertung auf Zonenebene</b> .....	<b>39</b>
<b>12 Anhang: TEK - Kurzdokumentation</b> .....	<b>48</b>





# 1 Zusammenfassung

Im vorliegenden Energieberatungsbericht wird das Institutsgebäude Technik III/2 am Standort Holländischer Platz der Universität Kassel mit Hilfe einer Gebäudeanalyse nach dem Verfahren Teilenergiekennwerte von Nicht-Wohngebäuden (TEK) untersucht.

Das Gebäude wurde im Jahr 1995 nach mehrjähriger Bauphase als Labor- und Bürogebäude der Fachbereiche Maschinenbau und Bauingenieurwesen in Betrieb genommen. Weiterhin sind ein Hörsaal und mehrere Seminarräume im Gebäude integriert.

Charakteristika des Gebäudes sind die im Gegensatz zu den übrigen Universitätsgebäuden auffällige Fassadengestaltung mit Aluminiumelementen und der große Fensterflächenanteil von ca. 60% an der Nord- und Südseite.



Abbildung 1-1: Nord- und Westansicht auf das Gebäude Technik III/2

Der Primärenergiebedarf des Objekts beträgt  $243 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ . Unter Berücksichtigung der vorhandenen Nutzung wird dieser Energieaufwand als „mittel“ eingestuft. Das entspricht etwa dem Mittelwert für Bestandsgebäude. Der größte Anteil des gesamten Energieaufwands entfällt auf das Gewerk Heizung, welches ebenso wie das Gewerk Beleuchtung mit „mittel“ bewertet wird. Der Energieaufwand aller anderen Gewerke wird mit „sehr gering“ bis „gering“ bewertet.

Die berechneten Endenergiekennwerte liegen für den Brennstoff bei  $85,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  und für die elektrische Energie bei  $50,7 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ .

Aus den Untersuchungen können folgende Handlungsempfehlungen abgeleitet werden:

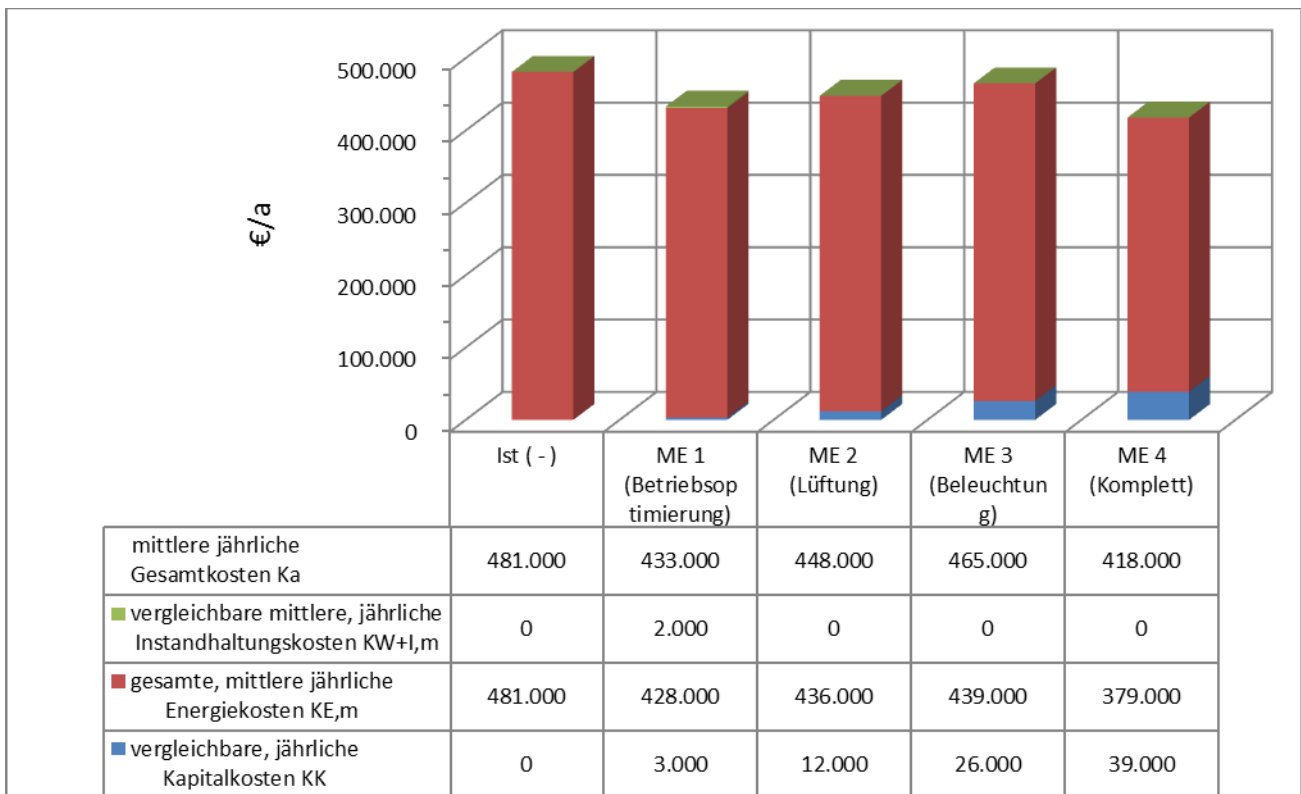
- Besonderes Augenmerk sollte auf die Sanierung der RLT-Heizung gelegt werden. Obwohl der Heizwärmebedarf vergleichsweise gering ist, verursacht dieser Bereich der Anlagentechnik etwa  $1/3$  des Gesamtwärmeverbrauchs des Gebäudes [8]. Ein zusätzliches Einsparpotenzial ergibt sich durch die bereits installierte Wärmerückgewinnungsanlage der Kälteanlage, welche das RLT-Netz bei angepassten Vorlauftemperaturen durchaus die meiste Zeit des Jahres versorgen könnte.
- Die Auslegung der ursprünglich vorgesehenen Luftmengen der Lüftungsanlagen ist nicht mehr zeitgemäß und verursacht vor allem bei bisher nur einstufig geregelten Anlagen (an/aus) hohe Kosten. Basierend auf einer Nutzungsanpassung und heutigen Vorgaben zur Dimensio-

nierung von Luftmengen können bei fast allen Anlagen Stromverbrauch und Lüftungswärmeverluste gesenkt werden.

- Der Stromverbrauch der Beleuchtung kann durch den Einsatz von moderner Beleuchtungstechnik unter Einbeziehung eines angepassten Beleuchtungskonzeptes deutlich gesenkt werden. Hervorzuheben ist der Einsatz von Präsenzmeldern in Verkehrsflächen und Sanitärräumen, da dort die Beleuchtung während der Nutzungszeit dauerhaft in Betrieb ist.
- Abschließend sollte die Universität ihrer durch die Energieeinsparverordnung vorgeschriebenen Verpflichtung nachkommen, entsprechende Klimageräte einer energetischen Inspektion zu unterziehen. Die Inspektion wäre ein Chance, den Verbrauch der nicht mehr zeitgemäßen Klimatisierung der Labore zu senken, welcher durch hohe Laufzeiten und eine fehlende Volumenstromregelung verursacht wird.

Eine weitere wesentliche Bedarfsreduzierung würde sich auch durch den Austausch der Fenster ergeben, die aufgrund des hohen Fensterflächenanteils und des schlechten U-Werts der Fenster für den Wärmebedarf des Gebäudes maßgebend sind. Langfristig sollte eine Verringerung des U-Werts angestrebt werden. Unter den gegenwärtigen Rahmenbedingungen kann aber keine Handlungsempfehlung abgeleitet werden.

Der wirtschaftliche Vergleich (s. Abbildung 1-2) zeigt, dass die Kombination aller Maßnahmen (ME 4) die wirtschaftlichste Variante darstellt. Instandhaltungskosten wurden nur berücksichtigt, wo Mehrkosten entstehen, was in den meisten Fällen nicht zu erwarten ist. Es zeigt sich in ME 4 eine jährliche Einsparung von ca. 63.000 Euro bezogen auf die Gesamtkosten. Der ökologische Vergleich (s. Abbildung 1-3) zeigt die entsprechende Minderung der absoluten CO<sub>2</sub>-Emissionen um knapp 300 Tonnen pro Jahr.



**Abbildung 1-2 Vergleich der jährlichen Gesamtkosten der verschiedenen Maßnahmenempfehlungen**

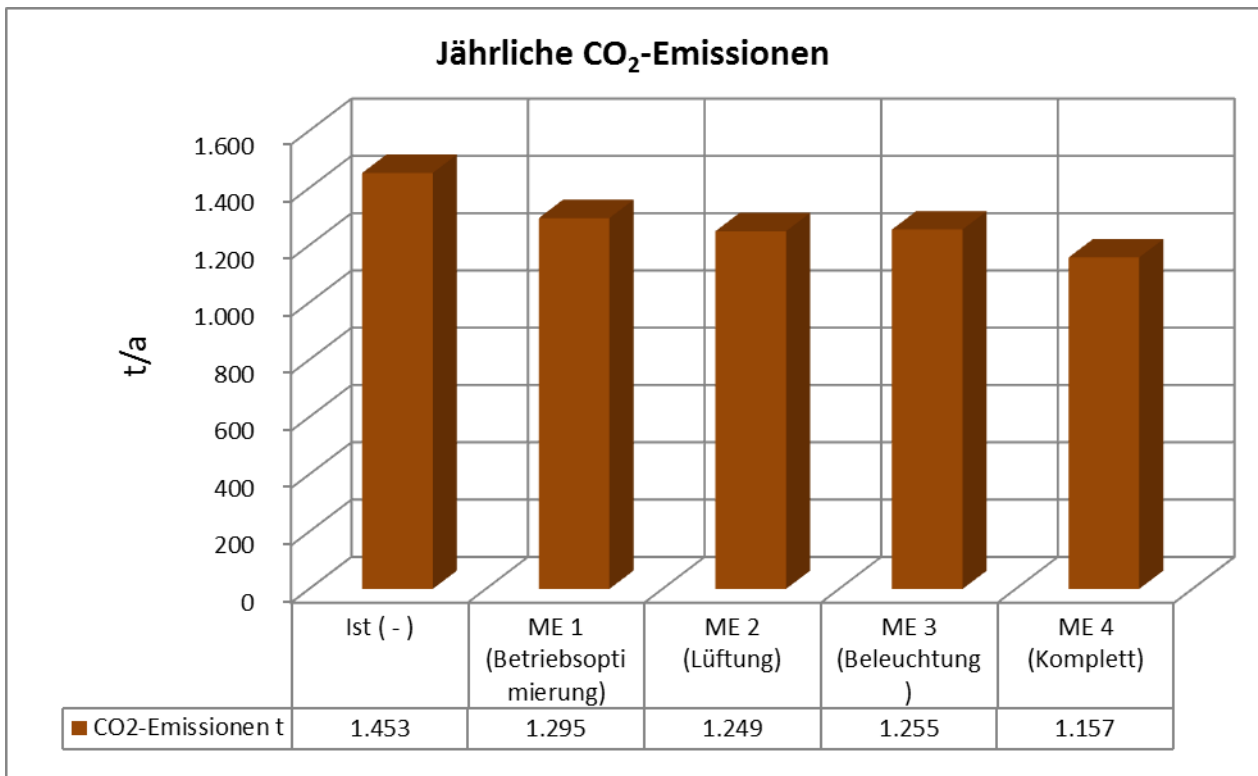


Abbildung 1-3 Vergleich der jährlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen der verschiedenen Maßnahmenempfehlungen

## 2 Einleitung und Aufgabenstellung

Im Rahmen des vom Hessischen Ministerium der Finanzen geförderten Forschungsprojektes „Bausteine für die CO<sub>2</sub>-Neutralität im Liegenschaftsbestand hessischer Hochschulen“ wird die neu entwickelte Teilenergiekennwertmethode, kurz TEK - an sieben technisch komplexen Hochschulgebäuden erprobt. Aus den Analysen gewonnene Erkenntnisse und Erfahrungen dienen der Weiterentwicklung der Bewertungsmethodik. Zudem sollen Erkenntnisse über die energetische Struktur von bestehenden, komplexen Nichtwohngebäuden gewonnen werden. Die aus den Analysen gewonnenen Gebäude- und Anlagendaten dienen als Datengrundlage für eine Querschnittsanalyse zum Nichtwohngebäudebestand.

In dem vorliegenden Bericht wird eine der sieben energetischen Gebäudeanalysen beschrieben. Diese bezieht sich auf das Gebäude:

### **Universität Kassel - Technik III/2; Kurt-Wolters-Straße 3; 34127 Kassel**

Das Gebäude wurde in bisherigen Untersuchungen der Projektgruppe „Solarcampus“ bereits in Teilen der Anlagentechnik detailliert untersucht. In den entsprechenden Abschnitten dieses Energieberatungsberichts kann auf die Ergebnisse zurückgegriffen werden.

Der folgende Kurzbericht umfasst:

- Eine kurze Beschreibung des Projektes und des Gebäudes,
- die Bewertung des Ist-Zustands des Gebäudes,
- die Angabe von Modernisierungsmaßnahmen unter Nennung der Energieeinsparung, der Grobkosten und der sich hieraus ergebenden Wirtschaftlichkeit,
- einen Anhang mit ausführlichen Informationen zur Gebäudeanalyse.





### 3 Projekt- und Gebäudebeschreibung

Das Universitätsgebäude Technik III/2 wurde 1995 als Hochschulgebäude in Betrieb genommen und besitzt fünf Vollgeschosse und drei Kellergeschosse. Da die baulichen Anforderungen noch nicht der Wärmeschutzverordnung von 1995 entsprachen, wird in der TEK-Analyse das Baujahr 1994 gewählt. Gebäudecharakteristisch sind die großflächige Verglasung insbesondere der Süd-, aber auch der Nordfassade, die im Sommer oft zu einer Überhitzung der Galerie und der Büroräume führt, sowie die Verkleidung der opaken Fassadenelemente mit Aluminiumkassetten.

Das Gebäude wird als Institutsgebäude für Lehre und Forschung genutzt. Neben einigen kleineren Forschungsinstituten sind vor allem die Fachbereiche Maschinenbau und Bauingenieurwesen mit Forschungslaboren und Werkshallen und Büroräumen ansässig. Weiterhin sind ein Hörsaal und mehrere Seminarräume vorhanden. In den Untergeschossen sind neben einer großen Wasserbauhalle und einem Windkanal vor allem technische Betriebsräume untergebracht.

1.1 Allgemeine Projektinformationen		
CO <sub>2</sub> -neutrale Hochschulen _ Gebäudeanalysen		
Gebäude	Eigentümer	Energieberatung
Technik III/2 Geb. 7320 Kurt-Wolters-Str. 3 34127 Kassel	Universität Kassel Mönchebergstr. 19 34127 Kassel	Universität Kassel FG Technische Gebäudeausrü Gottschalkstr. 28 34127 Kassel



1.2 Allgemeine Gebäudeeigenschaften			
Gebäudekategorie	Hochschulen	en. Qualität Gebäudehülle $H'_T$	1,22 $W/(m^2_{BTF}K)$
Unterkategorie	Institutsgebäude für Lehre und Forschung	en. Qualität Lüftung $H'_V$	0,42 $W/(m^3/h K)$
		Fensterant. (oberirdisch)	40 %
Baujahr Gebäude	1994	Anzahl beheiz. Geschosse	5,0
Energiebezugsfläche	19.922 $m^2$	Anzahl der Zonen	24
davon		Anzahl der RLT-Anlagen	13
	künst. belichte	101 %	
	mech. belüftet	46 %	Anzahl zentr. Kälteerz.
	gekühlt	5 %	1
	befeuchtet	0 %	Anzahl zentr. Wärmeerz.
			1
A/V-Verhältnis	0,19 $m^{-1}$		

Abbildung 3-1: Zusammenfassende Darstellung der wichtigsten Gebäudeeigenschaften

Die Nettogrundfläche (NGF) des Gebäudes beträgt 20.175 $m^2$ , davon werden 19.922 $m^2$  in die Berechnung der Energiebezugsfläche (EBF) einbezogen, welche die Summe der Nettogrundflächen aller Zonen innerhalb der thermischen Gebäudehülle darstellt. Dabei wird nicht berücksichtigt, ob sie direkt oder indirekt beheizt sind. Die gesamte Nettogrundfläche ist künstlich beleuchtet, was

101% der Energiebezugsfläche entspricht, da sich die Dachzentralen im fünften Obergeschoss nicht innerhalb der thermischen Gebäudehülle befinden, jedoch beleuchtet sind. 46% der Energiebezugsfläche können mechanisch belüftet werden, wobei dies vor allem in den Werkshallen nur auf telefonische Anfrage geschieht. Das A/V-Verhältnis (Fläche zu Volumen) beträgt aufgrund der kompakten Bauweise und der Größe des Gebäudes  $0,19 \text{ m}^{-1}$ .

Der spezifische Transmissionswärmetransferkoeffizient beträgt  $H'_T = 1,22 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .  $H'_T$  quantifiziert die Transmissionswärmeverluste des Gebäudes bezogen auf die Fläche der thermischen Gebäudehülle. Dieser Wert ist für ein Gebäude der Baualtersklasse 1984 – 1994 vergleichsweise schlecht, was am großen Fensterflächenanteil in Höhe von 40% liegt. Die Fenster sind isolierverglast mit Aluminiumrahmen, für die entsprechend der Wärmebedarfsrechnung nach DIN 4701 aus dem Jahr 1991 ein U-Wert von  $3,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  angesetzt wird. In der Literatur sind teils schlechtere Wärmedurchgangskoeffizienten für diesen Fenstertypen zu finden. Die hinterlüftete Fassade besteht aus einer Betonwand mit einer 8-10 cm starken Dämmung sowie einer Verkleidung mit Aluminiumkassetten und hat einen U-Wert von  $0,37 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Das Flachdach ist eine Betondecke, die teilweise von unten mit Trapezblech verkleidet ist und auf Stahlträgern aufliegt. Die Dämmung wird zur Herstellung eines Gefälles genutzt, ist 8 bis 25 cm stark und wird nach einer Abdichtung von Kies überdeckt. Entsprechend der Wärmebedarfsrechnung beträgt der mittlere U-Wert des Daches  $0,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

Der spezifische Lüftungswärmetransferkoeffizient beträgt  $H'_V = 0,33 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h K})$ , was gerade dem Wert entspricht, der sich in einem ideal dichten Gebäude ergeben würde, in dem der hygienische Mindestluftvolumenstrom über Fensterlüftung realisiert wird. Im Fall des Gebäudes Technik III/2 wird der Wert trotz höheren Luftwechsell durch die Nutzung der Wärmerückgewinnung in fast allen Lüftungsanlagen realisiert (außer Abluftanlagen).

Im Gebäude wird den Laboren neben der mechanischen Belüftung und Kühlung noch Druckluft, Warmwasser, Kühlwasser sowie ein Gasanschluss zur Verfügung gestellt. Einige Räume können zudem vollklimatisiert werden. Entsprechend aufwändig ist die Gebäudetechnik. In der TEK-Berechnung werden die 19 Zu- und Abluftanlagen, die Abluftanlagen für z.B. WCs und ELT-Räume sowie die 9 Umluftklimageräte zur dezentralen Klimatisierung von Laborräumen zu insgesamt 13 RLT-Anlagen zusammengefasst. Weiterhin wird eine zentrale Kältemaschine sowie die Wärmebereitstellung über Fernwärme berücksichtigt. Um die von der Anlagentechnik versorgten Bereiche adäquat zu berücksichtigen, wurde das Gebäude in 24 Nutzungszonen eingeteilt.



## 4 Bewertung des Ist-Zustandes

Im Folgenden wird der Ist-Zustand des Gebäudes unter energetischen Gesichtspunkten bewertet. Hierauf aufbauend werden in Abschnitt 5 Schwachstellen aufgezeigt, sowie in Abschnitt 6 Modernisierungsempfehlungen gegeben.

Zur energetischen Bewertung werden zunächst die Verbrauchskennwerte des Gebäudes für Brennstoff bzw. Nah-/Fernwärme (im Weiteren vereinfacht als Brennstoff bezeichnet) sowie für elektrische Energie den Vergleichswerten der EnEV 2009 für bestehende Gebäude [3] gegenübergestellt (Abschnitt 4.1) und der zeitaufgelöste Lastgang des Gebäudes analysiert (Abschnitt 4.2). Nach dieser ersten Grobbewertung erfolgt eine Bewertung der Effizienz auf der Grundlage einer Bilanzberechnung (Abschnitt 4.3.2). Um die Realitätsnähe der Berechnung zu überprüfen, werden dabei zunächst die Berechnungsergebnisse den gemessenen Verbräuchen gegenübergestellt (Abschnitt 4.3.1).

### 4.1 Gemessene Verbrauchsdaten

Für die Verbrauchsanalyse werden die folgenden Verbrauchsdaten des Gebäudes herangezogen:

Fernwärme: Monatliche Verbrauchsdaten des Hauptzählers für den Zeitraum von 2006 bis 2011. Die Daten wurden einer Klimabereinigung gemäß [3] unterzogen. Es ist auffällig, dass der gemessene Verbrauch auch im Sommer nicht unter 50 MWh pro Monat sinkt. Es ist also ganzjährig ein hoher Grundverbrauch des Gebäudes zu verzeichnen.

Elektrische Energie: Monatliche Verbrauchsdaten des Hauptzählers für den Zeitraum von 2006 bis 2011. Auffällig sind ansteigende Verbräuche in den Jahren 2010 und 2011, die vermutlich auf neu in Betrieb genommene Verbraucher in Laboren zurückzuführen sind, da es in der Gebäudetechnik keine grundlegenden Änderungen gab. Diese beiden Jahre wurden daher nicht im Benchmarking (s. unten) berücksichtigt.

Abbildung 4-1 und Abbildung 4-2 zeigen die Monatsverläufe sowie Jahreswerte der bereinigten Verbrauchskennwerte für die ausgewerteten Jahre. Die Jahresmittelwerte für Fernwärme sowie elektrische Energie sind in Abbildung 4-3 den Vergleichswerten der vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung veröffentlichten Bekanntmachung „Regeln für Energieverbrauchs-kennwerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand“ [3] gegenübergestellt. Der Ist-Verbrauch des untersuchten Gebäudes ist dabei als Prozentwert der Referenzwerte angegeben, d. h. die Referenzwerte entsprechen 100 %.

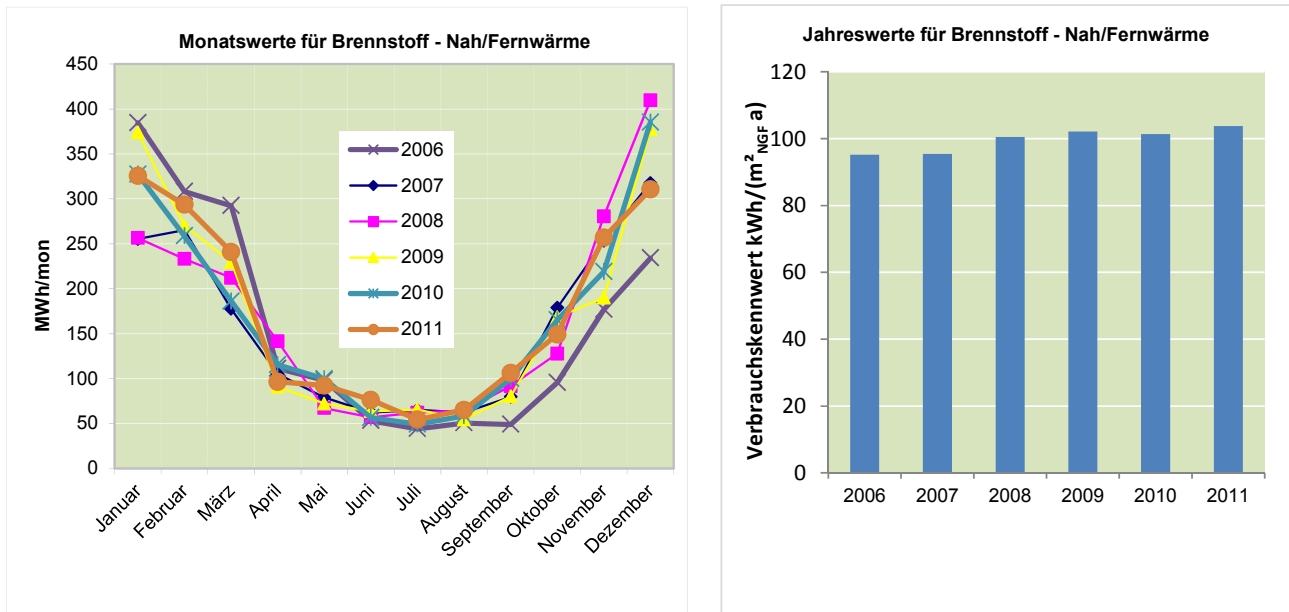


Abbildung 4-1: Witterungsbereinigte Monats- und Jahresverbräuche für Nah-/Fernwärme der letzten 6 Jahre)

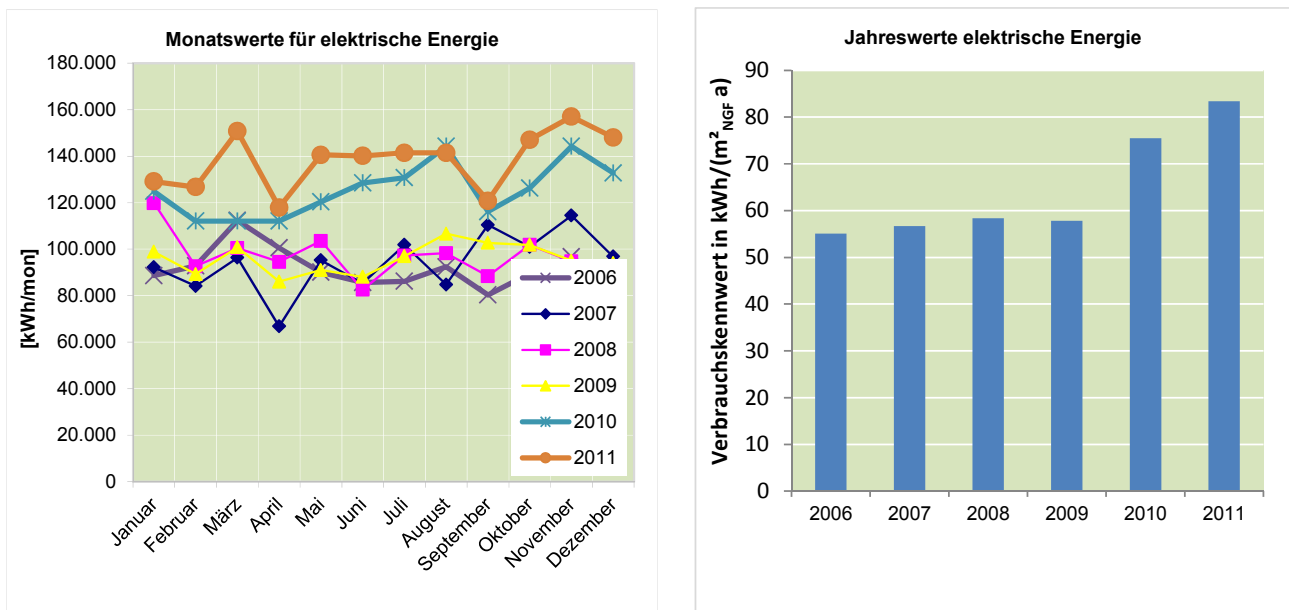


Abbildung 4-2: Monatsverbräuche elektrischer Energie der letzten 6 Jahre

Das Gebäude Technik III/2 wurde aufgrund der Nutzung in drei unterschiedliche Gebäudekategorien nach den o.g. Bekanntmachungen des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung [3] eingeteilt. Die beiden überwiegenden Nutzungen bestehen aus Instituten der Fachgebiete Maschinenbau und Bauingenieurwesen mit jeweils 52% und 44% der Nettogrundfläche. Sie werden den Kategorien Institutsgebäude III für Maschinenbau und Institutsgebäude II für Bauingenieurwesen zugeordnet. Ein kleiner Anteil von 5% entfällt auf die Kategorie Hörsaalgebäude. Für

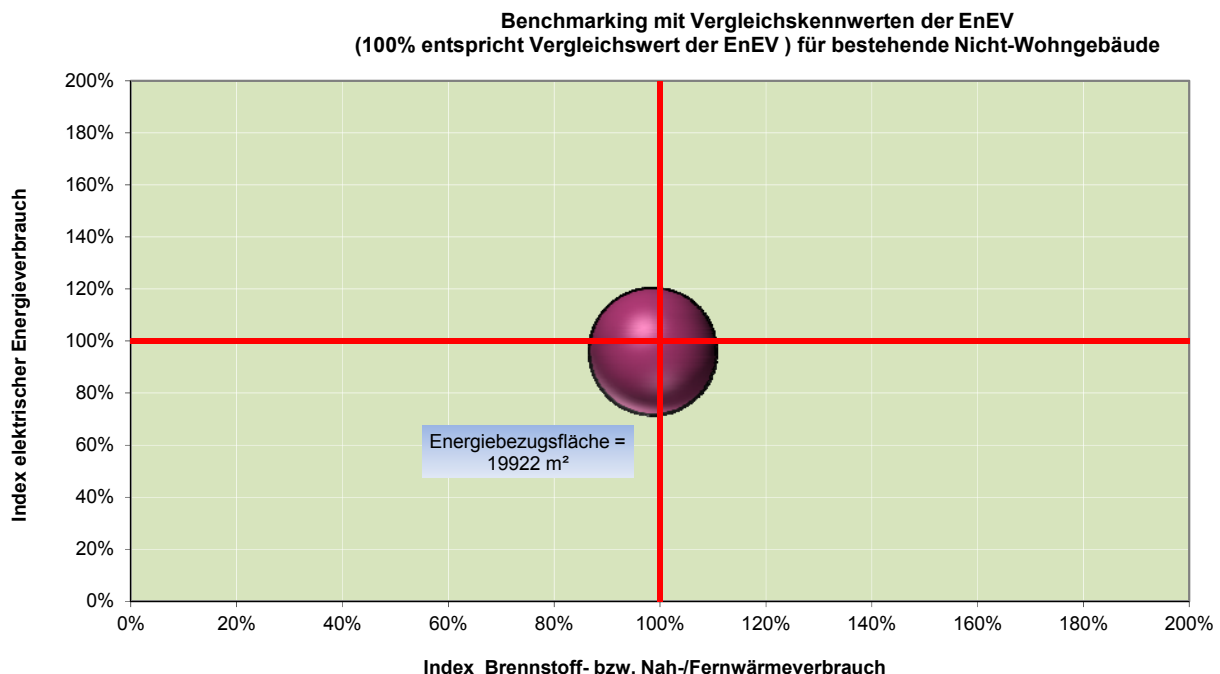


das Benchmarking wurden die Vergleichswerte aller gewählten Gebäudekategorien über den Flächenanteil gewichtet, um einen übergreifenden Vergleichswert zu erhalten.

Wie Abbildung 4-3 zeigt, liegt das untersuchte Hochschulgebäude in Bezug auf den „Index elektrischer Energieverbrauch“ und „Index Brennstoff- bzw. Nah-/Fernwärmeverbrauch“ nahe bei den jeweiligen Vergleichskennwerten der EnEV:

- Der elektrische Energieverbrauch des Gebäudes entspricht mit 96% in etwa dem Vergleichswert der EnEV 2009.
- Der Fernwärmeverbrauch des Hochschulgebäudes entspricht mit 98% ebenfalls dem Vergleichswert der EnEV 2009.

Es handelt sich also um ein Gebäude mit – gemessen an seiner Nutzung – durchschnittlichen Verbräuchen.



**Abbildung 4-3: Bewertung des gemessenen Energieverbrauchs durch Vergleich mit den Referenzwerten der [Bekanntmachung 2009] (entsprechend dem Wert 100 %)**

## 4.2 Lastganganalysen

Neben den Monats- bzw. Jahresverbräuchen werden im Folgenden zeitlich hochaufgelöste Verbrauchsdaten analysiert (Minuten- und Stundenmesswerte). Für die Lastganganalysen standen folgende Verbrauchsdaten des Gebäudes zur Verfügung:

- Brennstoff bzw. Fernwärme: Verbrauchsdaten der Gebäudeleittechnik des Hauptzählers des Jahres 2011 und Messdaten der RLT-Heizung aus [8] von Aug. bis Nov. 2011.
- Elektrische Energie: Lastgang des Hauptzählers von Apr. 2008 bis Jul. 2009 sowie Messdaten der Lüftungszentralen I bis III von Juli 2009.

### 4.2.1 Lastganganalyse Fernwärme

Bei der Lastganganalyse in Abbildung 4-4 werden wie bei der Analyse der monatlichen Zählerdaten die hohen Wärmeverbräuche des Gebäudes während der Sommerzeit deutlich. Die Heizperiode des Gebäudes beginnt bei Außentemperaturen von kleiner als ca. 15 °C, doch auch außerhalb der Heizperiode beträgt der Tagesverbrauch noch ca. 2 MWh pro Tag.

Anhand der Messdaten der RLT-Heizung wird deutlich, dass in diesem Verbrauchernetz ein Großteil des sommerlichen Verbrauches entsteht. Erst ab Temperaturen von kleiner als ca. 10 °C zeigt sich bei der RLT-Heizung eine geringe Außentemperaturabhängigkeit des Verbrauches. Da es in der RLT-Heizung keine Verbraucher gibt, die dauerhaft Wärme benötigen, ist vermutlich mit großen „Standby“-Wärmeverlusten zu rechnen.

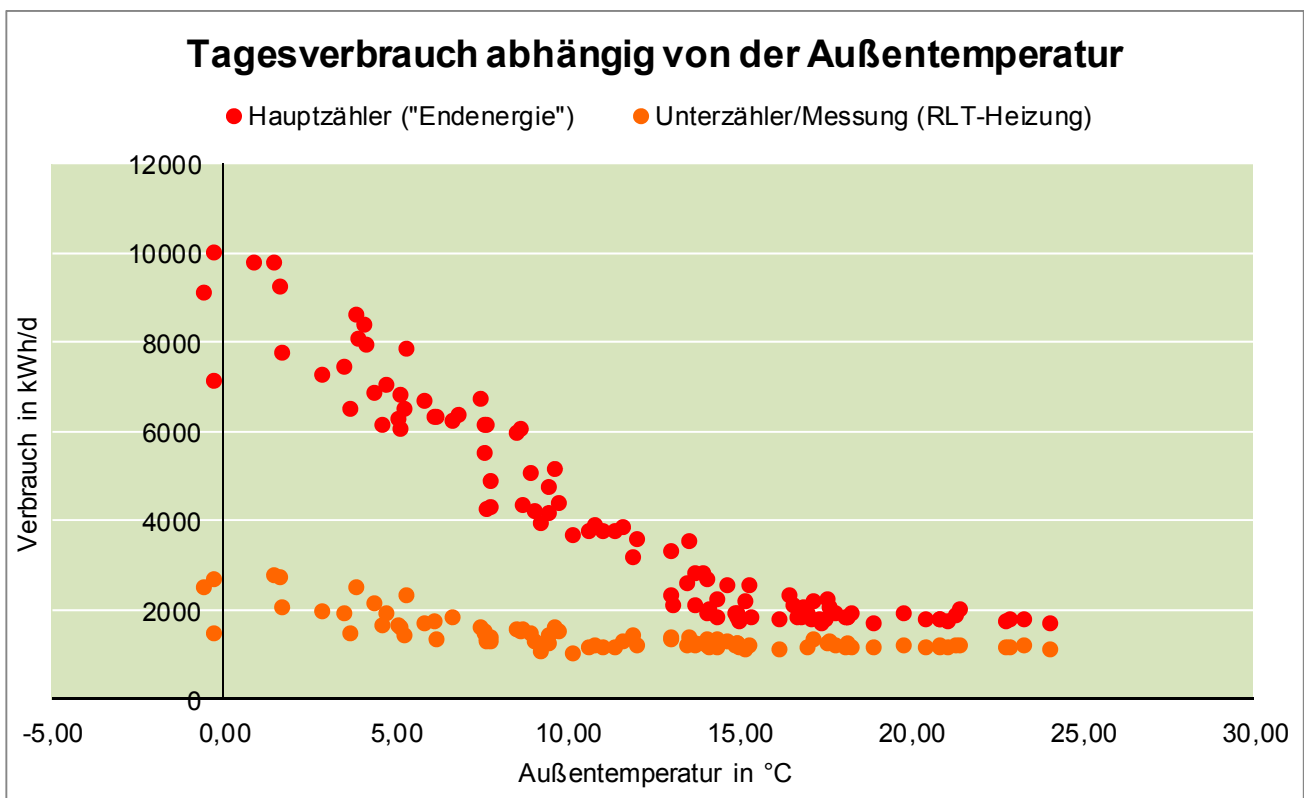
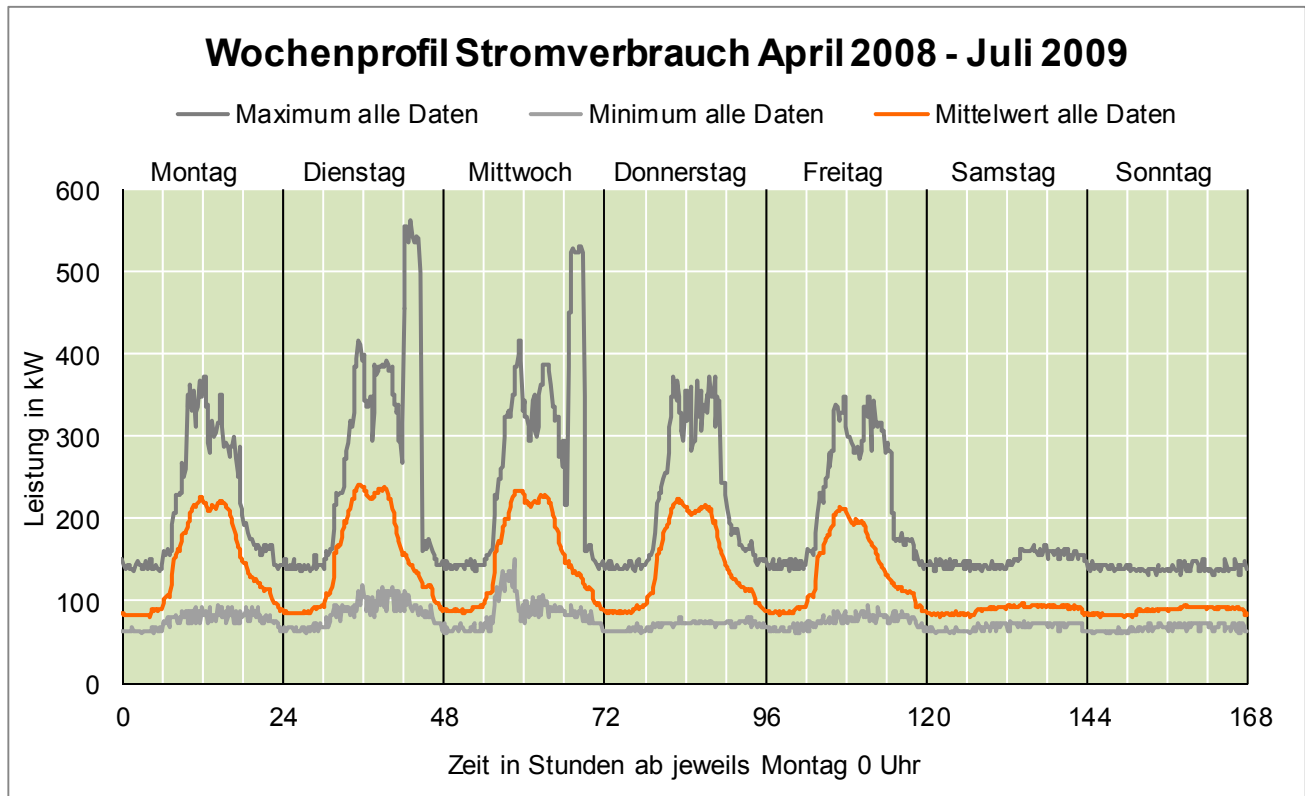


Abbildung 4-4: Tagesverbrauch an Fernwärme des Gebäudes und der RLT-Heizung in Abhängigkeit von der Außentemperatur



#### 4.2.2 Lastganganalyse elektrische Energie

Abbildung 4-5 zeigt das Wochenprofil des elektrischen Energieverbrauchs. Die orangene Linie stellt den Mittelwert aller ausgewerteten Wochen dar, die die grauen Linien den Maxi- und Minimalwert.



**Abbildung 4-5: Wochenprofile des elektrischen Energieverbrauchs**

Es zeigt sich eine hohe Grundlast von ca. 90 kW, die nachts und an den Wochenenden anfällt. Im Mittel steigt an Wochentagen die elektrische Leistung dann ab ca. 6 Uhr an und erreicht gegen zwölf Uhr ihr Maximum, welches im Mittel bei ca. 230 kW liegt. Über die Mittagszeit sinkt die elektrische Leistung typischerweise kurz ab, um dann am Nachmittag ein zweites Maximum zu erreichen. Ab ca. 16 Uhr sinkt die Leistung dann stetig und erreicht gegen Mitternacht das Minimum.

Auffällig sind ansonsten die Verbrauchsspitzen in den Maximalwerten am Dienstag und Mittwoch. An diesen Tagen wurde offenbar der Windkanal betrieben, welcher aufgrund des hohen Leistungsbedarfs nur in den Abendstunden zugeschaltet werden darf.

Der mittlere Lastgang entspricht dem Profil eines typischen Bürogebäudes, bei dem tagsüber mehr und mehr Arbeitsmittel zugeschaltet werden. Nachts und am Wochenende ist der Lastgang erhöht durch die Labornutzung mit einerseits hohe Anforderungen an die Gebäudetechnik (z.B. 24h-Vollklimatisierung) und andererseits Verbrauchern in Laboren, die dauerhaft in Betrieb sind.

In Abbildung 4-6 ist die numerische Auswertung der Lastganganalyse aufgeführt. Dargestellt sind Kennwerte bezogen auf den gesamten ausgewerteten Zeitraum, die Nutzungszeit und die Stand-by-Zeit (die Zeit außerhalb der angenommenen Nutzungszeit von 8:00 bis 20:00 Uhr). Die Auswertung ergibt, dass großes Augenmerk darauf gelegt werden sollte, nicht benötigte Verbraucher nachts abzuschalten, da der Grundlastverbrauch einen erheblichen Anteil am Gesamtverbrauch

ausmacht: Außerhalb einer angenommenen täglichen Nutzungsdauer ist der Stromverbrauch mit ca. 94% beinahe so hoch wie während der Nutzungszeit.

Gesamter Zeitraum			Verhältnis Standby zu Gesamtzeit [%]	
	absolut [kW]	spezifisch [W/m <sup>2</sup> ]		
Maximale Leistung	564,0	27,96	Zeit	64,3%
Minimale Leistung	60,0	2,97	Leistung	75,3%
Mittlere Leistung	131,7	6,53	Verbrauch	48,4%

Nutzungszeit			Verhältnis Standby zu Nutzungszeit [%]	
	absolut [kW]	spezifisch [W/m <sup>2</sup> ]		
Dauer	60 h/woche		Zeit	180,0%
Maximale Leistung	564,0	27,96	Leistung	52,1%
Minimale Leistung	68,0	3,37	Verbrauch	93,8%
Mittlere Leistung	190,3	9,43		

Standbyzeit				
	absolut [kW]	spezifisch [W/m <sup>2</sup> ]		
Dauer	108 h/woche			
Maximale Leistung	544,0	26,96		
Minimale Leistung	60,0	2,97		
Mittlere Leistung	99,2	4,91		

Abbildung 4-6: Auswertung des elektrischen Energieverbrauchs in der Nutzungszeit (Mo. – Fr. von 8:00 - 20:00 Uhr) und der Standby-Zeit des Gebäudes zwischen April 2008 und Juli 2009

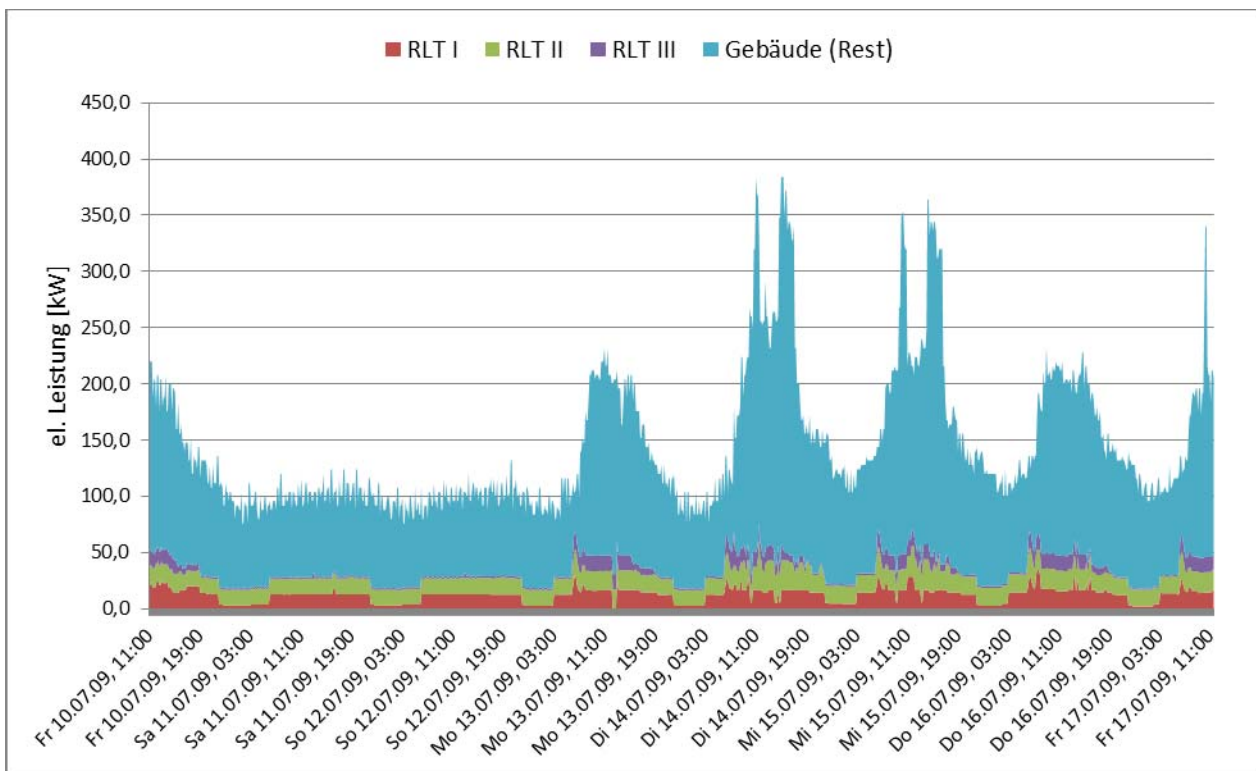


Abbildung 4-7: Wochenprofil des elektrischen Energieverbrauchs mit Darstellung der RLT-Zentralen I bis III im Zeitraum vom 10.07.09 bis 17.07.09





### 4.3 Rechnerische Bilanzierung des Energieaufwandes des Gebäudes

Um die Struktur des Energieverbrauchs des Gebäudes zu analysieren und Schwachstellen zu identifizieren, wird dieser über eine Energiebilanzberechnung nachvollzogen. Die Berechnung wird in Anlehnung an die DIN V 18599 durchgeführt, wobei unterschiedliche Vereinfachungen und Modifikationen bei der Berechnung vorgenommen wurden [4].

Eine Dokumentation der wichtigsten Eigenschaften und Randbedingungen des Berechnungsmodells ist im Abschnitt 12 zu finden.

#### 4.3.1 Vergleich der Berechnung mit dem gemessenen Verbrauch

Um zu überprüfen, wie gut das Berechnungsmodell den tatsächlichen Verbrauch des Gebäudes abbildet, werden zunächst in Abbildung 4-8 die berechneten Energiebedarfskennwerte den gemessenen Energieverbrauchskennwerten (siehe Abschnitt 4.1) gegenübergestellt (Endenergieebene). Die Farblegende zur Grafik sowie die Zahlenwerte sind in der Tabelle rechts dargestellt. Die Gebäudesummen als Kennwerte in kWh/(m<sup>2</sup>a) sowie als Absolutwert in MWh/a sind in der Tabelle unten links aufgeführt. Die letzte Zeile dieser Tabelle zeigt das Verhältnis von berechnetem Bedarf zu gemessenem Verbrauch  $f_{b/v}$ .

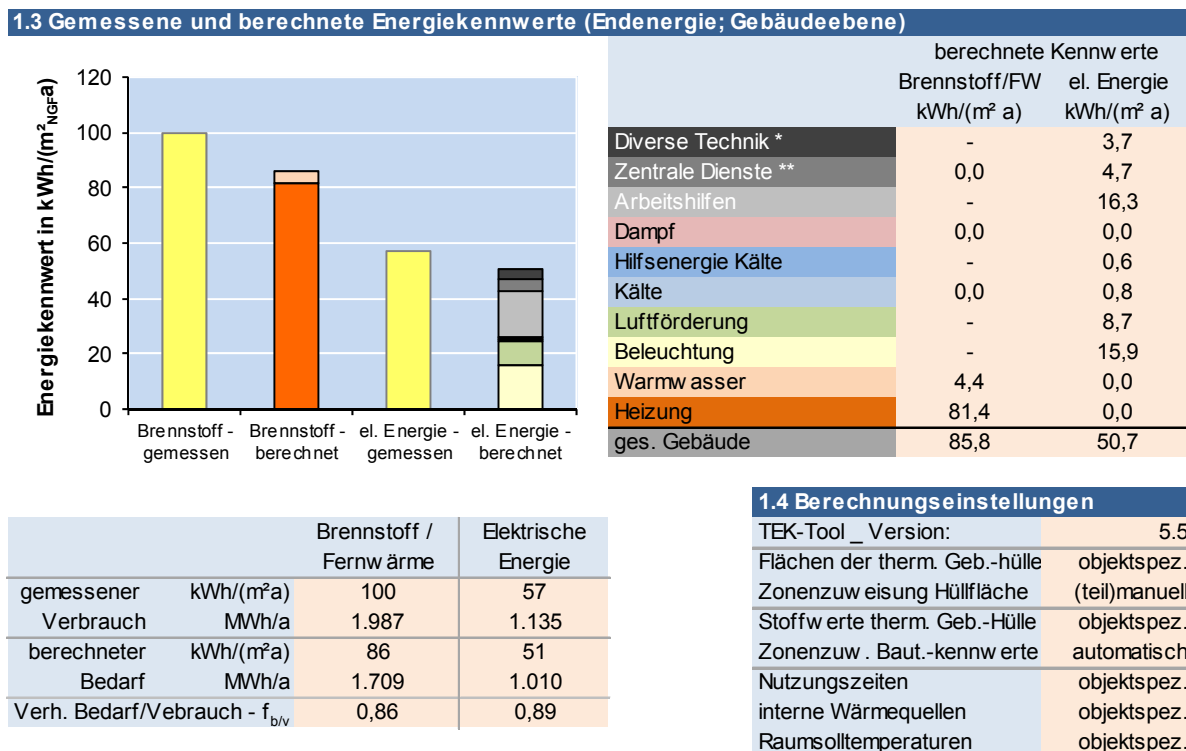


Abbildung 4-8: Vergleich von gemessenem Verbrauch und berechnetem Bedarf

Es zeigt sich dass der gemessene Wärmeverbrauch ca. 14 % größer ist als der in TEK berechnete Bedarf, was eine Differenz von 14 kWh/m<sup>2</sup> im Jahresmittel bedeutet. Ein wesentlicher Grund dieser Abweichung liegt vermutlich darin, dass es im Gebäude neben dem Wärmeverteilnetz der statischen Heizkörper ein zusätzliches Wärmeverteilnetz für raumluftechnische Anlagen gibt. Da von diesem Netz u.a. Nachheizregister versorgt werden, welche sich in allen Unter- und Obergeschossen befinden, hat das Netz eine ähnliche räumliche Ausdehnung wie das gesamte Netz der stati-

schen Heizung. Ein weiterer Grund für den hohen Wärmeverbrauch in diesem Netz ist, dass es ganzjährig mit einer Vorlauftemperatur von ca. 50 °C in Betrieb gehalten wird. Da die Wärmeverluste dieses zweiten Wärmeverteilnetzes nicht in TEK abgebildet werden können, berechnet sich ein zu geringerer Bedarf. Der Verbrauch des RLT-Heizungsnetzes wurde im Rahmen einer Masterarbeit in [Alsen 2011] gemessen, wobei die sommerlichen Wärmeverluste im RLT-Netz auf ca. 44 kW beziffert wurden, was in einer überschlägigen Hochrechnung mit 8760 Stunden Betriebsdauer pro Jahr einen spezifischen Verbrauch von 19 kWh/(m<sup>2</sup>a) bedeutet. Bedenkt man, dass während der Heizperiode ein Teil der Wärmeverluste des RLT-Netzes als Wärmegutschrift in der Energiebilanz verrechnet werden können, erscheint die in der TEK-Berechnung verbleibende Differenz von 14 kWh/(m<sup>2</sup>a) dadurch plausibel erklärbar.

Der berechnete Strombedarf ist ca. 11 % bzw. 6 kWh/(m<sup>2</sup>a) geringer als der reale Verbrauch. Wie Abbildung 4-8 zeigt, machen Arbeitshilfen v.a. in Büros und in Laboren und die Beleuchtung die größten Verbrauchsanteile aus. Der in der Berechnung verwendete pauschale Ansatz zur Quantifizierung der Arbeitshilfen bringt eine gewisse Unschärfe in die Berechnung, die ggf. einen Teil der o.g. Abweichung des Bedarfs vom Verbrauch erklären kann. Weiterhin wird der Endenergieverbrauch der Kälteerzeugung offenbar unterschätzt: Während mit TEK ein Endenergiebedarf für die Kälteerzeugung von 0,8 kWh/(m<sup>2</sup>a) berechnet wird, ergibt die Auswertung eines bei der Kältemaschine vorhandenen Unterzählers im Mittel der Jahre 2002 bis 2010 einen realen Verbrauch von 6,5 kWh/(m<sup>2</sup>a). Die Diskrepanz zwischen Bedarf und Verbrauch bei der Kälteerzeugung konnte im Rahmen der vorliegenden Untersuchung nicht endgültig geklärt werden, hat aber vermutlich viele verschiedene Gründe:

- es gibt zwei Kältenetze mit unterschiedlichen Temperaturniveaus (ein geschlossenes Netz mit 6 °C Vorlauf- und 12 °C Rücklauftemperatur sowie ein offener Kühlwasserkreislauf mit 15 °C Vorlauf- und 20 °C Rücklauftemperatur), woraus größere Verteilverluste resultieren,
- es besteht ein geringer (aber vorhandener) Kühlwasserbedarf von technischen Anlagen in den Laboren,
- die Kühlung einzelner elektrischer Großverbraucher (wie z.B. einer Druckluftzentrale) kann nicht in TEK abgebildet werden und
- die Jahresarbeitszahl der Kältemaschine kann schlechter als angenommen sein. So wurde in einer Solarcampus-Messung die Arbeitszahl zu 1,1 quantifiziert, während TEK in aufgrund der installierten Anlagentechnik ein Wert von 5,2 als Jahresarbeitszahl verwendet wird.

Diese Einflüsse können in der vorliegenden TEK-Version nicht berücksichtigt werden.



### 4.3.2 Berechnete Energiekennwerte

Auf der Grundlage der Energiebilanzberechnung wird in Tabelle 4-1 und Abbildung 4-9 die Entwicklung des Energiebedarfs von der Nutzenergie über die Endenergie (unterschieden nach Brennstoff und elektrischer Energie) bis zur Primärenergie für die unterschiedlichen Gewerke (Heizung bis Diverse Technik) dargestellt werden. In der letzten Spalte von Tabelle 4-1 sind ergänzend die CO<sub>2</sub>-Emissionen in kg/(m<sup>2</sup>a) differenziert nach Gewerken und für das gesamte Gebäude dargestellt.

1.5 Teilenergiekennwerte und CO <sub>2</sub> -Emissionen auf Gebäudeebene						
	Nutzenergie		Endenergie		Primär-energie	CO <sub>2</sub> -Emission kg/(m <sup>2</sup> a)
	Zonen/RLT	Erzeuger	Brennstoff kWh/(m <sup>2</sup> a)	el. Energie		
Heizung	57,5	81,4	81,4	0,0	105,8	33,3
Warmwasser	0,2	4,4	4,4	0,0	5,7	1,8
Beleuchtung	-	-	-	15,9	41,4	10,1
Luftförderung	-	-	-	8,7	22,6	5,5
Kälte	3,4	4,1	0,0	0,8	2,1	0,5
Hilfsenergie Kälte	-	-	-	0,6	1,6	0,4
Dampf	0,0	-	0,0	0,0	0,0	0,0
Arbeitshilfen	-	-	-	16,3	42,3	10,3
Zentrale Dienste	-	-	0,0	4,7	12,1	3,0
Diverse Technik	-	-	-	3,7	9,7	2,4
gesamt	61,2	89,9	85,8	50,7	243,3	67,2

Tabelle 4-1: Teilenergiekennwerte und Bewertung für den Ist-Zustand

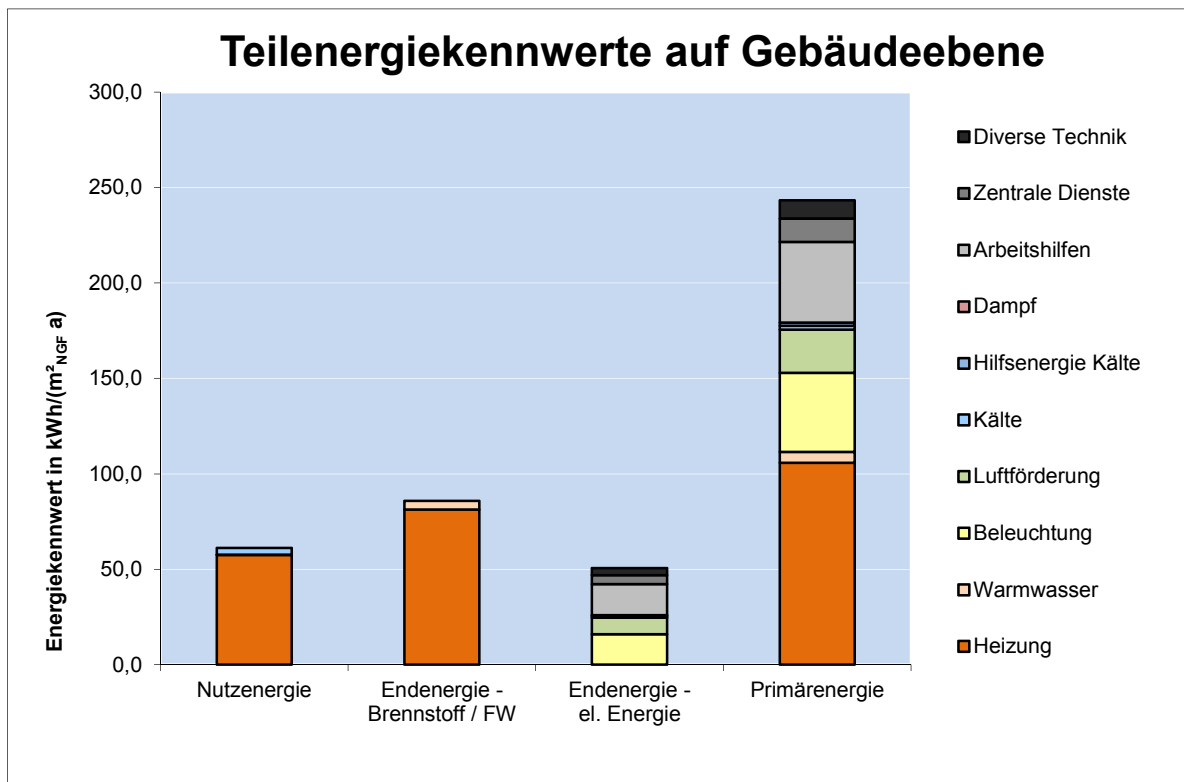


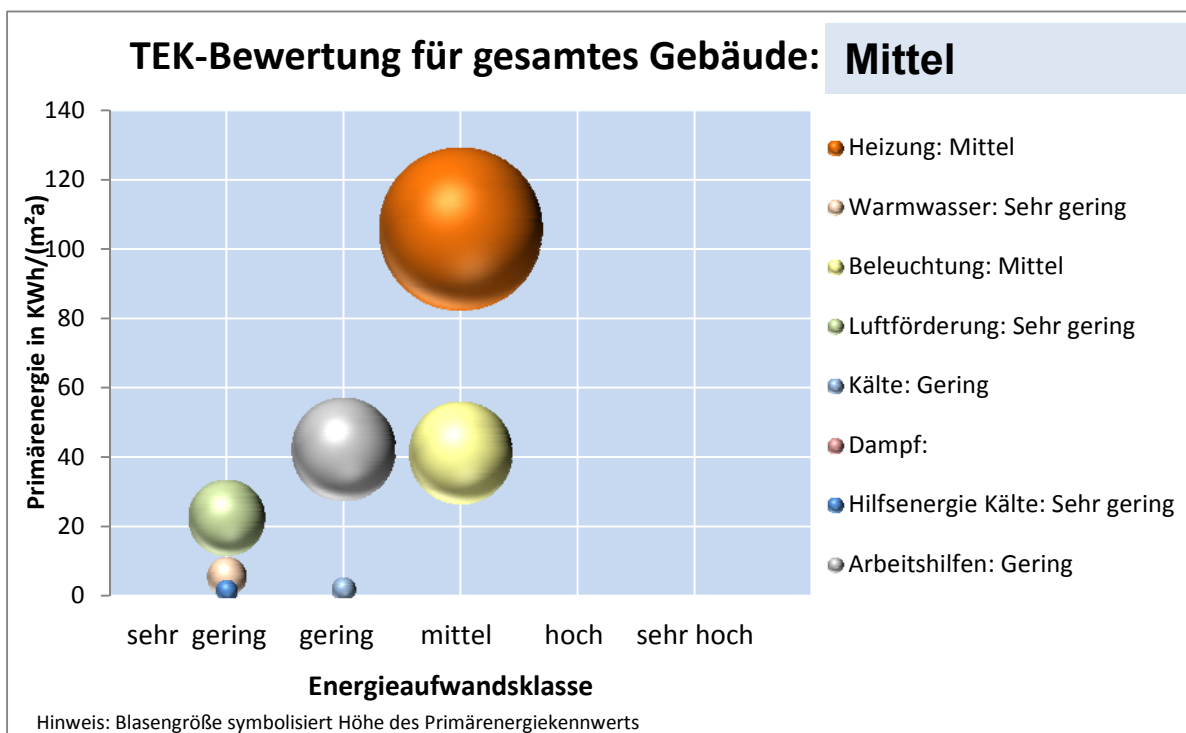
Abbildung 4-9: Teilenergiekennwerte für den Ist-Zustand

Der Beitrag der einzelnen Gewerke zum Gesamtprimärenergiebedarf des Gebäudes sowie die TEK- Effizienzbewertung in die fünf Energieaufwandsklassen:

- Sehr hoch (Bestandsgebäude mit sehr hohem Verbrauch)
- Hoch (Bestandsgebäude mit hohem Verbrauch)
- Mittel (Bestand)
- Gering (Neubaustandard ohne energetische Optimierung)
- Sehr gering (Neubaustandard bei Einsatz besonders energieeffizienter Technologie)

(siehe [4]) ist in Abbildung 4-10 dargestellt.

Bei der Teilenergiekennwertbewertung werden die Energiebedarfe der Gewerke auf Zonenebene mit typischen tabellierten Teilenergiekennwerten verglichen (siehe Abschnitt 11). Diese Bewertung wird von der Zonenebene (Abschnitt 11) über die Nutzungseinheit (Abschnitt 10) bis auf die Gebäudeebene aggregiert (siehe Abbildung 4-10). Die gewerkebezogene Bewertung auf Gebäudeebene wird dann zu einer Gesamtbewertung des Gebäudes zusammengefasst. Ausgeklammert bei dieser Bewertung werden die Gewerke „Zentrale Dienste“ und „Diverse Technik“, da für diese beiden keine sinnvollen Benchmarks gebildet werden können.



**Abbildung 4-10: Beitrag der Gewerke zum Gesamtprimärenergiebedarf des Gebäudes und TEK-Effizienzbewertung**

### Gesamtes Gebäude

Der Primärenergiebedarf für das Gebäude beträgt 243,3 kWh/(m²a) und wird als „mittel“ eingestuft. Diese Gesamtbewertung entsteht durch die als „mittel“ bewerteten Energieaufwände für Heizung und Beleuchtung.



Die drei wesentlichen Anteile des Gesamtprimärenergiebedarfs entfallen auf die Heizung (105,8 kWh/(m<sup>2</sup>a)), die Arbeitshilfen (42,3 kWh/(m<sup>2</sup>a)) und die Beleuchtung (41,4 kWh/(m<sup>2</sup>a)).

#### Heizung:

Die Heizung des Gebäudes liefert mit 105,8 kWh/(m<sup>2</sup>a) den größten Anteil am Primärenergiebedarf und wird als „mittel“ bewertet. Die mittlere Bewertung des Primärenergiebedarfs ergibt sich hauptsächlich aus den schlechten U-Werten der isolierverglasten Fenster mit Aluminiumrahmen.

#### Arbeitshilfen:

Der Primärenergiebedarf der Arbeitshilfen beträgt 42,3 kWh/(m<sup>2</sup>a) und wird als „gering“ eingestuft. Der vergleichsweise hohe Primärenergiebedarf kann mit dem hohen Laboranteil erklärt werden.

#### Beleuchtung:

Der Primärenergiebedarf der Beleuchtung beträgt 41,4 kWh/(m<sup>2</sup>a) und wird wegen der Verwendung von Leuchtstofflampen mit ineffizienten konventionellen Vorschaltgeräten und teils langen Betriebszeiten als „mittel“ eingeschätzt.

#### Luftförderung:

Der Primärenergiebedarf der Luftförderung beträgt 22,6 kWh/(m<sup>2</sup>a). Er wird als „sehr gering“ ausgewiesen. Die sehr gute Bewertung resultiert daraus, dass viele Labore und v.a. Werkshallen zwar maschinell belüftet werden können, dies jedoch nur sehr selten von den Nutzern angefordert wird. Daraus resultieren bei den betroffenen Anlagen geringe Volllaststunden und sehr gute TEK-Bewertungen.

#### Warmwasser:

Der Primärenergiebedarf für Warmwasser beträgt 5,7 kWh/(m<sup>2</sup>a), was sich gut mit Verbrauchsmessungen der Projektgruppe Solarcampus der Universität Kassel deckt. Der Energieaufwand wird als „sehr gering“ klassifiziert, was am geringen Warmwasserverbrauch der Labore liegt. Die Bewertung suggeriert ein zu gutes Bild von der Wärmeversorgung, da über 90% des verbleibenden Wärmeverbrauchs Zirkulationsverluste sind.

#### Kälte:

Der Primärenergiebedarf der Kälte beläuft sich auf 2,1 kWh/(m<sup>2</sup>a). Er wird als „gering“ eingeschätzt. Der Bedarf wird, wie in Abschnitt 4.3.1 dargelegt, deutlich unterschätzt. Die Hilfsenergie für Kälte beträgt 1,6 kWh/(m<sup>2</sup>a) und wird als „sehr gering“ bewertet.

## 5 Gebäudeanalyse über Teilenergiekennwertbewertung

In der nachfolgenden Tabelle 5-1 sind mögliche Modernisierungsmaßnahmen für das Gebäude aufgelistet. Diese basieren aus den Erkenntnissen aus der Gebäudebegehung vor Ort und der rechnerischen Gebäudeanalyse über Teilenergiekennwerte. Die aufgeführten Modernisierungsmaßnahmen sind noch nicht auf Realisierbarkeit hin überprüft und damit nur als Ideenpool zu verstehen. Die relevantesten Maßnahmen bzw. Maßnahmenkombinationen sind in Abschnitt 6 näher untersucht.

- Die Maßnahmen Nr. 1 - 5 werden in Abschnitt 6.1 beschrieben und berücksichtigen in erster Linie leicht und ohne großen Aufwand umsetzbare Maßnahmen der Betriebsoptimierung sowie der verbesserten Regelbarkeit der RLT-Heizung. Die Maßnahmen werden aufgrund des – gemessen am geringen Aufwand – hohen Energieeinsparpotenzials teils dringend empfohlen.
- Die Maßnahmen Nr. 6 und 7 sind dem Bereich der Lüftungstechnik zuzuordnen und werden in Abschnitt 6.2 beschrieben. Behandelt werden vor allem Möglichkeiten der bedarfsgerechten Luftmengenanpassung in den mechanisch belüfteten Räumen.
- Maßnahme 8 behandelt die Erneuerung der Beleuchtung, dem Gewerk mit dem größten elektrischen Stromverbrauch und einer vergleichsweise schlechten TEK-Bewertung (Abschnitt 6.3).

Die übrigen Maßnahmen sind als Empfehlungen zu verstehen, werden aber in den übrigen Kapiteln nicht weiter ausgearbeitet, was verschiedene Gründe hat:

- Der Austausch der Fenster (Nr. 9) ist aus energetischer Sicht absolut empfehlenswert. Der Endenergiebedarf an Wärme des gesamten Gebäudes würde durch die Verbesserung des U-Wertes auf von 3,1 auf 1,0 W/(m<sup>2</sup>K) um etwa 25 % sinken. Auch die Überhitzung im Sommer könnte durch den Einsatz von Sonnenschutzverglasung gemindert werden. Allerdings müssten beträchtliche Teile der Fassade ausgetauscht werden, welche ansonsten noch in gutem technischen Zustand ist. Eine Wirtschaftlichkeit der Maßnahme scheint daher zum jetzigen Zeitpunkt nicht gegeben.
- Die Abschaltung der TWW-Zirkulation (Nr. 10) ist aufgrund des hohen Verlustanteils und des geringen Bedarfs bereits beschlossen und befindet sich in der Umsetzung.
- Die Maßnahmen 11 bis 15 wurden aufgrund der Priorisierung der Maßnahmen bei der Erstellung dieses Beratungsberichts nicht weiter verfolgt.


**Tabelle 5-1: Zusammenstellung möglicher Modernisierungsmaßnahmen für das Gebäude**

Lfd. Nr.	Kostengruppe DIN 276 Nr. Bezeichnung	Maßnahmenbeschreibung	Wichtigkeit (von 1 bis 5)	Bemerkungen
1	489 Gebäudeautomation, sonstiges	RLT-Heizung Teil 1	4) dringend	Verringerung von Wärmeverlusten im RLT-Netz (Heizkreis für Umluftklimageräte)
2	489 Gebäudeautomation, sonstiges	RLT-Heizung Teil 2	4) dringend	Inbetriebnahme der Wärmerückgewinnung der Abwärme der Kälteanlage
3	489 Gebäudeautomation, sonstiges	Nachtabstaltung	4) dringend	Nachts statt reduziertem Betrieb Abschaltbetrieb
4	489 Gebäudeautomation, sonstiges	Variable Pumpenlaufzeit	4) dringend	Abschaltung im Sommer und ggf. nachts
5	489 Gebäudeautomation, sonstiges	Beleuchtungsdauer reduzieren	3) wichtig	In Verkehrsflächen und Sanitär Präsenzmelder installieren, segmentweise Beleuchtung
6	431 Lüftungsanlagen	Luftmengen anpassen	3) wichtig	Obergeschosse (Anlage 8, 11, 17), Technik (Anlage 5, 13) Innenzone (Anlage 6, 12, 16)
7	431 Lüftungsanlagen	Lüftungsanlagen mit drehzahlvariablem EC-Motor umrüsten	2) empfohlen	Anlage 1: Hörsaal, Anlage 12: Innenzone, Anlage 5 u. 13: Technik & Sanitär, div. Umluftklimageräte
8	445 Beleuchtungsanlagen	Beleuchtung erneuern	2) empfohlen	Anlagen mit alten Vorschaltgeräten erneuern; Beleuchtungsstärke und -dauer anpassen
9	334 Außentüren und -fenster	Austausch der Fenster	4) dringend	U-Wert der Fenster auf 1,0 W/(m²K) reduzieren - Sonnenschutzverglasung
10	422 Wärmeverteilnetze	TWW-Zirkulation abschalten	3) wichtig	Warmwassererzeugung dezentral mit Durchlauferhitzern regeln.
11	489 Gebäudeautomation, sonstiges	Offenes Kältenetz nur bei Bedarf freigeben	2) empfohlen	Steigleitungen nur mit Anmeldung freigeben
12	435 Kälteanlagen	Freie Kühlung offenes Kältenetz	2) empfohlen	Alternativ dezentral an 6/12 °C anbinden und offenes Netz abschalten
13	431 Lüftungsanlagen	Abluftnutzung im Bereich des Atriums	2) empfohlen	Aufbereitung der Wärme aus dem Flurbereich zum Heizen (Abluftwärmepumpe oder Lüftung WRG)
14	422 Wärmeverteilnetze	Hydraulischer Abgleich	2) empfohlen	Alle Heizkreise inkl. RLT-Heizung
15	435 Kälteanlagen	Jahresarbeitszahl überprüfen	2) empfohlen	Nach Solarcampusmessungen sehr schlecht, ggf. Maßnahmen ergreifen

## 6 Modernisierungsempfehlungen

Auf Grundlage der Gebäudebegehung und der rechnerischen Gebäudeanalyse wurden unterschiedliche Modernisierungsmaßnahmen identifiziert. Diese sind in Abschnitt 5 in tabellarischer Form dargestellt.

Aus den möglichen Maßnahmen werden Einzelmaßnahmen bzw. Modernisierungsempfehlungen als Pakete aus diesen nun detaillierter ausgearbeitet. Für jede Empfehlung werden die erzielbare Energieeinsparung mit einer Variante des TEK-Tools bestimmt und die Investitionskosten im Rahmen einer Grobkostenschätzung ermittelt. Hieraus werden erste Aussagen zur Wirtschaftlichkeit abgeleitet.

### 6.1 Modernisierungsempfehlung 1: Betriebsoptimierung

Mit der Maßnahmenempfehlung „Betriebsoptimierung“ sollen zunächst die Wärmeverluste der RLT-Heizung verringert werden (Maßnahme 1). Die Ausgangslage ist, dass neben Heizregistern und Nachheizregistern auch Umluftklimageräte vom genannten Netz versorgt werden, welche zum Teil das ganze Jahr über Wärme benötigen. Da diese auf eine Vorlauftemperatur von 50 °C ausgelegt sind, muss das gesamte Netz der RLT-Heizung immer auf dieser Temperatur gehalten werden.

Die Maßnahmenempfehlung Nr. 1 besteht darin, eine Steigleitung (mit der die im Sommer Wärme benötigten Klimageräte versorgt werden) von der RLT-Heizung abzukoppeln und an den Heizkreisverteiler III der statischen Heizung anzuschließen. Es wird also ein neuer Heizkreis für die entsprechenden Klimageräte geschaffen, so dass diese immer ausreichend versorgt werden. Das Netz der RLT-Heizung kann dann im Sommer ausgeschaltet werden, da die normalen Heiz- und Nachheizregister in dieser Zeit keine Wärme benötigen. In der übrigen Zeit kann die Vorlauftemperatur in Abhängigkeit von der Außentemperatur geregelt werden (witterungsgeführte Regelung).

Die Maßnahme Nr. 2 baut auf die vorherige Maßnahme auf. Der Vorschlag lautet, die Abwärme aus dem Rückkühlkreis der Kältemaschine zu nutzen, um den Wärmebedarf und die verbleibenden Verluste der RLT-Heizung zu decken. Sämtliche technische Ausrüstung ist bereits dafür installiert (mit Ausnahme von einem Teil der Dämmung) und muss nur in Betrieb genommen werden. Bislang wird die Wärmerückgewinnung nicht betrieben, weil das Temperaturniveau der Abwärme nicht die aktuelle Vorlauftemperatur der RLT-Heizung von 50 °C erreicht. Mit der witterungsgeführten Regelung (Maßnahme 1), ggf. in Kombination mit einer  $\Delta p$ -v Pumpenregelung, kann die Rücklauftemperatur einen Großteil des Jahres deutlich unterhalb von z.B. 40 °C betragen – ein Temperaturniveau bis zu welchem die Abwärme der Kältemaschine ohne Probleme eingesetzt werden kann. Neben der Abwärmennutzung wird auch das Rückkühlwerk seltener in Betrieb genommen, welches einen bedeutenden Stromverbraucher darstellt (installiert sind zwei Lüfterstufen mit jeweils ca. 10 kW elektrischer Leistung).

Die beiden Maßnahmen können in TEK nicht abgebildet werden. Der berechnete Wärmebedarf des Gebäudes ist daher auch um ca. 14 kWh/(m<sup>2</sup>a) geringer als der Gesamtverbrauch (vgl. Abschnitt 4.3.1). In der TEK-Berechnung wird angenommen, dass diese Differenz gerade dem Einsparpotenzial durch die Maßnahmen Nr.1 und 2 entspricht. Durch die lange Abschaltdauer der RLT-Heizung, die witterungsgeführte Regelung und die Nutzung der Abwärme würden so knapp 75% der derzeitigen Verlustleistung der RLT-Heizung eingespart. Für die Schaffung eines neuen





Heizkreises und die Dämmung von Rohrleitungen und Wärmeübertragern der Wärmerückgewinnung werden Kosten von 10.000 Euro angesetzt.

Die Maßnahmen der Nachtabschaltung und variablen Pumpenlaufzeit (Nr. 3 und 4) verursachen keine Kosten. Hintergrund ist, dass in den meisten Heizkreisen derzeit eine Nachtabsenkung durch eine Reduzierung der Vorlauftemperatur vorgenommen wird (reduzierter Betrieb). In den Nachtstunden sollte stattdessen die Heizung ganz ausgeschaltet werden, wodurch die Nachtabsenkung deutlich effektiver wird. Aufgrund der kurzen Ausschaltedauer ist mit keiner unzulässigen Unterkühlung des Gebäudes zu rechnen. Wenn die Heizung nicht in Betrieb ist (im Sommer und ggf. nachts) sollten zudem auch die Heizungspumpen ausgeschaltet werden. Derzeit laufen alle Pumpen das ganze Jahr über im Dauerbetrieb.

Die letzte Maßnahme im Rahmen der Betriebsoptimierung (Nr. 5) betrifft die Senkung der Betriebsstunden der Beleuchtung in Verkehrsflächen und Sanitärräumen. Beide Bereiche werden zentral über die Gebäudeleittechnik gesteuert. In den Sanitärräumen ist die Beleuchtung von 6 bis 22 Uhr dauerhaft in Betrieb. In Verkehrsflächen mit Tageslicht wird im selben Zeitraum mit einem Dämmerungssensor gearbeitet, wobei tagsüber stets die halbe und in den Morgen- und Abendstunden die komplette Beleuchtung in Betrieb ist. In den Verkehrsflächen ohne Tageslicht (in den Untergeschossen) ist stets die halbe Beleuchtung in Betrieb, wobei die andere Hälfte von Hand zugeschaltet werden kann. Durch den langen Nutzungszeitraum von 6 bis 22 Uhr ergibt sich in den genannten Bereichen eine sehr hohe Betriebsdauer der Beleuchtung. Diese lässt sich durch den Einsatz von Präsenzmeldern effektiv verringern, welche im Rahmen der Betriebsoptimierung eingebaut werden sollten. Im Gegensatz zur Modernisierungsempfehlung 3 (Abschnitt 6.3) wird an dieser Stelle angenommen, dass die übrige Beleuchtungstechnik beibehalten wird. Es ergeben sich so Kosten in Höhe von 4 Euro je m<sup>2</sup> Verkehrsfläche und 9 Euro je m<sup>2</sup> Sanitärfläche [5] bzw. insgesamt ca. 26.000 Euro.

Lfd. Nr.	Kostengruppe DIN 276 Nr. Bezeichnung	Maßnahmenbeschreibung	Bemerkungen
1	489 Gebäudeautomation, sonstiges	RLT-Heizung Teil 1	Verringerung von Wärmeverlusten im RLT-Netz (Heizkreis für Umluftklimageräte)
2	489 Gebäudeautomation, sonstiges	RLT-Heizung Teil 2	Inbetriebnahme der Wärmerückgewinnung der Abwärme der Kälteanlage
3	489 Gebäudeautomation, sonstiges	Nachtabschaltung	Nachts statt reduziertem Betrieb Abschaltbetrieb
4	489 Gebäudeautomation, sonstiges	Variable Pumpenlaufzeit	Abschaltung im Sommer und ggf. nachts
5	489 Gebäudeautomation, sonstiges	Beleuchtungsdauer reduzieren	In Verkehrsflächen und Sanitär Präsenzmelder installieren, segmentweise Beleuchtung

**Abbildung 6-1: Modernisierungsempfehlung 1**

## 6.2 Modernisierungsempfehlung 2: Lüftung

Die Lüftungsanlagen verbrauchen mit knapp  $9 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  ca. 18 % des gesamten Stromverbrauch des Gebäudes Technik III/2 und verursachen bei einem angenommenen Strompreis von 16 Ct./kWh jährliche Kosten von ca. 28.000 Euro. Weiterhin stellen Lüftungswärmeverluste, trotz des Einsatzes von Wärmerückgewinnungsanlagen, einen bedeutenden Kostenfaktor dar.

Es wurden mehrere Lüftungsanlagen als Hauptverbraucher identifiziert, die entsprechend ihres Versorgungsbereiches zusammengefasst wurden (s. Abbildung 6-2). Es soll nun kurz diskutiert werden, mit welchen Maßnahmen die jeweiligen Lüftungsanlagen energieeffizienter betrieben werden können.

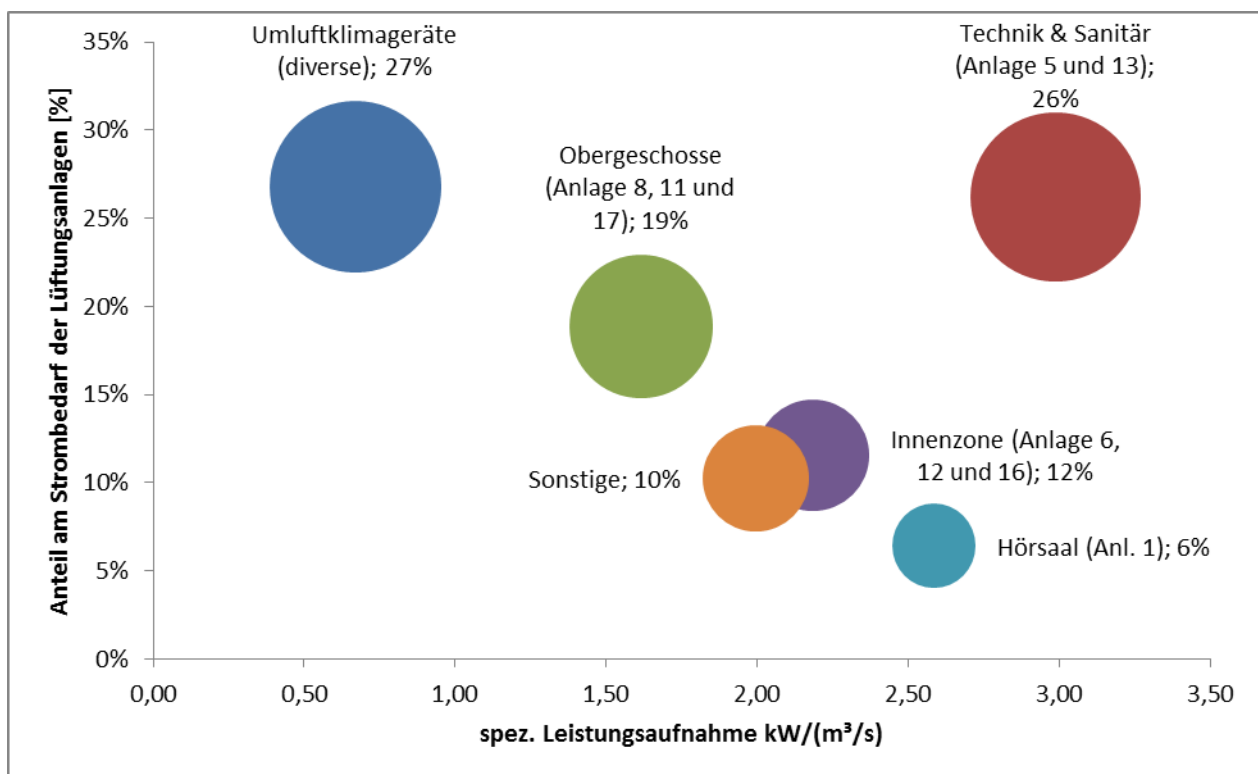


Abbildung 6-2: Stromverbrauch der Lüftungsanlagen im Gebäude Technik III/2

*Maßnahme 8* behandelt die Neuverteilung und bedarfsgerechte Reduzierung der Luftmengen der in Abbildung 6-2 dargestellten Lüftungsanlagen. Die Neuverteilung beruht auf einer überschlägigen Auslegung nach DIN EN 13779, wobei folgende Annahmen getroffen wurden:

- Büros und Seminarräume mit einer Personenbelegung wie in TEK
- Arbeitsräume und Werkstätten ausgelegt für jeweils 4 Personen. Besondere Emissionen, die nicht direkt an der Emissionsquelle abgesaugt werden können, werden nicht berücksichtigt.
- Als Labor titulierte Räume erhalten mindestens die Außenluftmenge für 4 Personen und maximal die derzeitige Luftmenge (ca. 70 % der ursprünglichen Auslegung bei volumenstromva-



riablen Anlagen). Auslegung der Labore ist daher (wie bisher) nicht nach DIN 1946-7 durchgeführt, wurde aber offenbar bisher auch nicht benötigt.<sup>1</sup>

- Küchen, Abstellräume und Lagerräume (im EG und in OGs) werden reine Ablufträume. Zuluft durch Überströmung aus dem Flur.

Mit diesen Annahmen und den Maßgaben der DIN EN 13779 wurden die benötigten Außenluftvolumenströme der von den Anlagen 5, 6, 11, 12 und 16 versorgten Räumen neu ausgelegt (tabellarische Auflistung s. Abschnitt 9.3) und zum Teil auf die übrigen Anlagen des jeweiligen Versorgungsbereichs übertragen:

- Im Versorgungsbereich „Obergeschoss“ (Anlage 8, 11 und 17) kann die Zuluft auf 34 % bis 55 % des derzeitigen Volumenstroms reduziert werden.
- Im Versorgungsbereich „Technik & Sanitär“ (Anlage 5 und 13) kann die Zuluft auf ca. 37 % des Nennvolumenstroms reduziert werden.
- Im Versorgungsbereich „Innenzone“ kann die Zuluft auf 24 % bis 34 % des derzeitigen Volumenstroms reduziert werden.

Zur Abschätzung des Einsparpotenzials wird in TEK stets vom oberen Grenzwert des Luftbedarfs ausgegangen.

Bei den Umluftklimageräten sollten zunächst die benötigten Heiz-, Kühl- und ggf. Feuchtelasten neu bestimmt werden, um die Volumenströme angepasst dimensionieren und die Ventilatoren entsprechend wählen zu können. Die aktuelle Auslegung beruht noch auf den Angaben der Fachbereiche von vor ca. 20 Jahren und ist vermutlich nur noch in den wenigsten Fällen zutreffend. Die Bestimmung der Auslegungslasten ist Teil der energetischen Inspektion von Klimaanlage, die bei vier Anlagen aufgrund einer Nennkälteleistung > 12 kW nach §12 EnEV ohnehin vorgeschrieben ist:

- Raum 0313 (5.800 m<sup>3</sup>/h / 3 kW<sub>el</sub> / Kälte 28,8 kW)
- Raum 1214 (3.300 m<sup>3</sup>/h / 0,75 kW<sub>el</sub> / Kälte 20,4 kW, Anlage derzeit außer Betrieb)
- Raum 1309 (ca. 8.500 m<sup>3</sup>/h / 0,6 kW<sub>el</sub> mit Frequenzumrichter/ Kälte 18,4 kW)
- Raum 1220 (16.000 m<sup>3</sup>/h / 9,2 kW<sub>el</sub> / Kälte 46,4 kW)

Für die Wirtschaftlichkeitsberechnung wird angenommen, dass der durchschnittliche Volumenstrom der Klimageräte um mindestens 50 % gesenkt werden kann.

Eine Kostenschätzung für die Neuverteilung der Luftmengen kann an dieser Stelle nur bedingt erfolgen. Es wird angenommen, dass die fachgerechte Planung den größten Kostenanteil ausmacht. Weiterer Aufwand entsteht durch das Einstellen und Einregulieren der Luftmengen an den Drosselklappen und am Zentralgerät. Die Gesamtkosten der Maßnahme werden auf 100.000 Euro

---

<sup>1</sup> Labore sind solche Räume, in denen z. B. durch Stoffe oder Verfahren etwaige Gefährdungen entstehen: „Die Anwendung dieser Norm [...] gilt auch für laborähnliche Räume, in denen Tätigkeiten mit Gefahrstoffen oder gesundheitsgefährdenden Stoffen und Agentien verrichtet werden.“ (Din 1946-7)

geschätzt, wovon ca. 50.000 Euro Planungskosten sind. Die Planungskosten entsprechen in etwa den Kosten nach HOAI für eine Neuplanung von Lüftungsanlagen<sup>2</sup>.

Gerade durch die Erbringung von Eigenleistungen könnten die Kosten vermutlich deutlich gesenkt werden. Sollten die Kosten einer Neuplanung der Volumenströme aller Anlagen das zulässige Investitionsvolumen übersteigen, so sollte die Neuplanung mindestens bei den Konstantvolumenstromanlagen (Anlage 5, 12 und 13) erfolgen, da bei diesen während der Nutzungszeit dauerhaft deutlich zu hohe Volumenströme gefördert werden.

*Maßnahme 9* behandelt die Umrüstung von bisher ein- oder zweistufigen Anlagen gegen neue Ventilatoren mit bevorzugt drehzahlvariablen EC-Motoren. Betroffen sind die Anlagen 5, 12 und 13 sowie diverse Umluftklimageräte.

Typische Wirkungsgrade für einzelne Bauteile werden in der DIN EN 13779 in den Kategorien „niedrig“, „normal“ und „hoch“ angegeben. Es wird angenommen, dass die bestehenden Anlagen in den Bereich „niedrig“ bis „normal“ und dass neue Anlagen in den Bereich „hoch“ fallen. Im Endergebnis ergeben sich zwischen neuen und alten Anlagen Differenzen im Wirkungsgrad von 8 % bis 23 % allein durch den Austausch von Ventilatoren und Motoren.

Es ist im Rahmen dieses Berichts nicht festzustellen, ob die Bestandsanlagen im Gebäude Technik III/2 eher im unteren oder eher im oberen Bereich des Wirkungsgradbereichs liegen. In der Wirtschaftlichkeitsberechnung wird daher eine moderate Verbesserung im Wirkungsgrad von nur 10 % angenommen. Aus wirtschaftlichen Gründen rechtfertigt sich der Ersatz von alten Motoren und Lüftern v.a. allem in Kombination mit der ermöglichten Anpassung der Luftmengen (s. Maßnahme 8) und der Möglichkeit einer bedarfsorientierten Regelung. Kosten für einen neuen Radialventilator mit Motor und Frequenzumrichter liegen nach [6] bei 2.400 Euro (Luftvolumenstrom bis 5.000 m<sup>3</sup>/h). Benötigt werden je zwei Ventilatoren für die Anlagen 5, 12 und 13 sowie angenommene vier Ventilatoren für die Umrüstung von Umluftklimageräten. Es ergeben sich so Kosten von ca. 24.000 Euro.

Lfd. Nr.	Kostengruppe DIN 276 Nr. Bezeichnung	Maßnahmenbeschreibung	Bemerkungen
8	431 Lüftungsanlagen	Luftmengen anpassen	Obergeschosse (Anlage 8, 11, 17, 18), Technik (Anlage 5, 13) Innenzone (Anlage 6, 12, 16)
9	431 Lüftungsanlagen	Lüftungsanlagen mit drehzahlvariablem EC-Motor umrüsten	Anlage 12: Innenzone, Anlage 5 u. 13: Technik & Sanitär, div. Umluftklimageräte

**Abbildung 6-3: Modernisierungsempfehlung 2**

### 6.3 Modernisierungsempfehlung 3: Beleuchtung

Die Beleuchtung des Gebäudes besteht hauptsächlich aus stabförmigen T8-Leuchtstofflampen in Verbindung mit induktiven Vorschaltgeräten, einer nicht mehr zeitgemäßen Technik. Die installierten Leistungen fallen vergleichsweise hoch aus. Eine aktive Regelung der Beleuchtung, z.B. durch

<sup>2</sup> Honorarzone II, Leistungsphasen der Entwurfsplanung bis Objektbetreuung und Dokumentation, ohne Vergabe. Anrechenbare Kosten der fiktiven Neuanlagen: ca. 400.000 Euro bzw. 15 Euro/(m<sup>3</sup>/h) nach [5]

tageslichtabhängige Regelung oder Präsenzmelder, ist nicht vorhanden. Einzig in den Verkehrsflächen wird bei Einbruch der Dämmerung weitere Beleuchtung zugeschaltet.

Ein großes Einsparpotenzial in der Beleuchtungstechnik besteht in der Umsetzung eines möglichst arbeitsbereichsbezogenen Beleuchtungskonzeptes und den Austausch der T8-Lampen durch T5-Lampen und der induktiven Vorschaltgeräte durch elektronische Vorschaltgeräte. Dadurch wird die Beleuchtung zielgerichteter eingesetzt und basiert auf einer effizienten Technik.

In TEK wird die Anpassung der installierten Leistung durch die Anwendung des Tabellenverfahrens nach DIN 18599 umgesetzt. Gegenüber dem aufgenommenen objektspezifischen Leistungen, die derzeit installiert sind, ergibt sich so bereits teilweise eine deutliche Reduzierung. Es ist denkbar, dass durch die Wahl eines angepassten Beleuchtungskonzeptes die installierten Leistungen gegenüber den Standardwerten der DIN 18599 noch weiter gesenkt werden können, was zu weiteren Einsparungen führen würde. In den Seminar- und Büroräumen wird bereits auf eine arbeitsbereichsbezogene Neuplanung zurückgegriffen, welche im Rahmen einer Masterarbeit an der Universität Kassel erstellt wurde [7].

Weiterhin werden zur Regelung von allen neuen Beleuchtungsanlagen Präsenzmelder eingesetzt. In den Verkehrsflächen und Sanitärräumen sind die Einsparungen besonders groß, da dort derzeit dauerhaft Beleuchtung in Betrieb ist (s. a. Maßnahmenempfehlung 1: Betriebsoptimierung). In Büroräumen, Laboren und Werkstätten mit Tageslichtversorgung und Seminarräumen bietet sich zudem der Einsatz einer tageslichtabhängigen Regelung an.

In den Sanitärräumen eignet sich v.a. der Einsatz von runden Leuchten, so dass Kompaktleuchtstofflampen oder LED-Lampen in Frage kommen. Da LED-Lampen nahezu unempfindlich gegenüber Schaltvorgängen sind, sind diese im Zusammenspiel mit Präsenzmeldern sinnvoll. Da LEDs in TEK derzeit nicht berücksichtigt werden können, wird der Einsatz von Kompaktleuchtstofflampen mit externem EVG angenommen.

Die Kosten für die Erneuerung der gesamten Anlage nach den o.g. Maßgaben werden in [7] auf ca. 270.000 Euro geschätzt und beruhen auf Katalogpreisen. Da auf die Katalogpreise zum Teil deutliche Rabatte gegeben werden, wird angenommen, dass in der Gesamtsumme auch sonstige Kosten für Montage, etc. enthalten sind.

Lfd. Nr.	Kostengruppe DIN 276 Nr. Bezeichnung	Maßnahmenbeschreibung	Bemerkungen
11	445 Beleuchtungsanlagen	Beleuchtung erneuern	Anlagen mit alten Vorschaltgeräten erneuern; Beleuchtungsstärke anpassen

**Abbildung 6-4: Modernisierungsempfehlung 3**

#### **6.4 Modernisierungsempfehlung 4: Betriebsoptimierung + Lüftung + Beleuchtung**

In Modernisierungsempfehlung 4 wird berechnet, welche Einsparungen sich durch die Kombination der oben erläuterten Modernisierungsempfehlungen ergeben.

Lfd. Nr.	Kostengruppe DIN 276 Nr. Bezeichnung	Maßnahmenbeschreibung	Bemerkungen
1	489 Gebäudeautomation, sonstiges	dynamische Heizung	Hydraulische Änderungen zur Verringerung von Verlusten und Nutzung der WRG der Kälteanlage. Klimageräte: Versorgung der meisten Geräte nur für Kühlzwecke
2	489 Gebäudeautomation, sonstiges	Nachtabstaltung	Nachts statt reduziertem Betrieb Abschaltbetrieb
3	489 Gebäudeautomation, sonstiges	Variable Pumpenlaufzeit	Abschaltung im Sommer und ggf. nachts
8	431 Lüftungsanlagen	Luftmengen anpassen	Obergeschosse (Anlage 8, 11, 17), Technik (Anlage 5, 13) Innenzone (Anlage 6, 12, 16)
9	431 Lüftungsanlagen	Lüftungsanlagen mit drehzahlvariablem EC-Motor umrüsten	Anlage 1: Hörsaal, Anlage 12: Innenzone, Anlage 5 u. 13: Technik & Sanitär, div. Umluftklimageräte
11	445 Beleuchtungsanlagen	Beleuchtung erneuern	Anlagen mit alten Vorschaltgeräten erneuern; Beleuchtungsstärke anpassen

**Abbildung 6-5: Modernisierungsempfehlung 4**

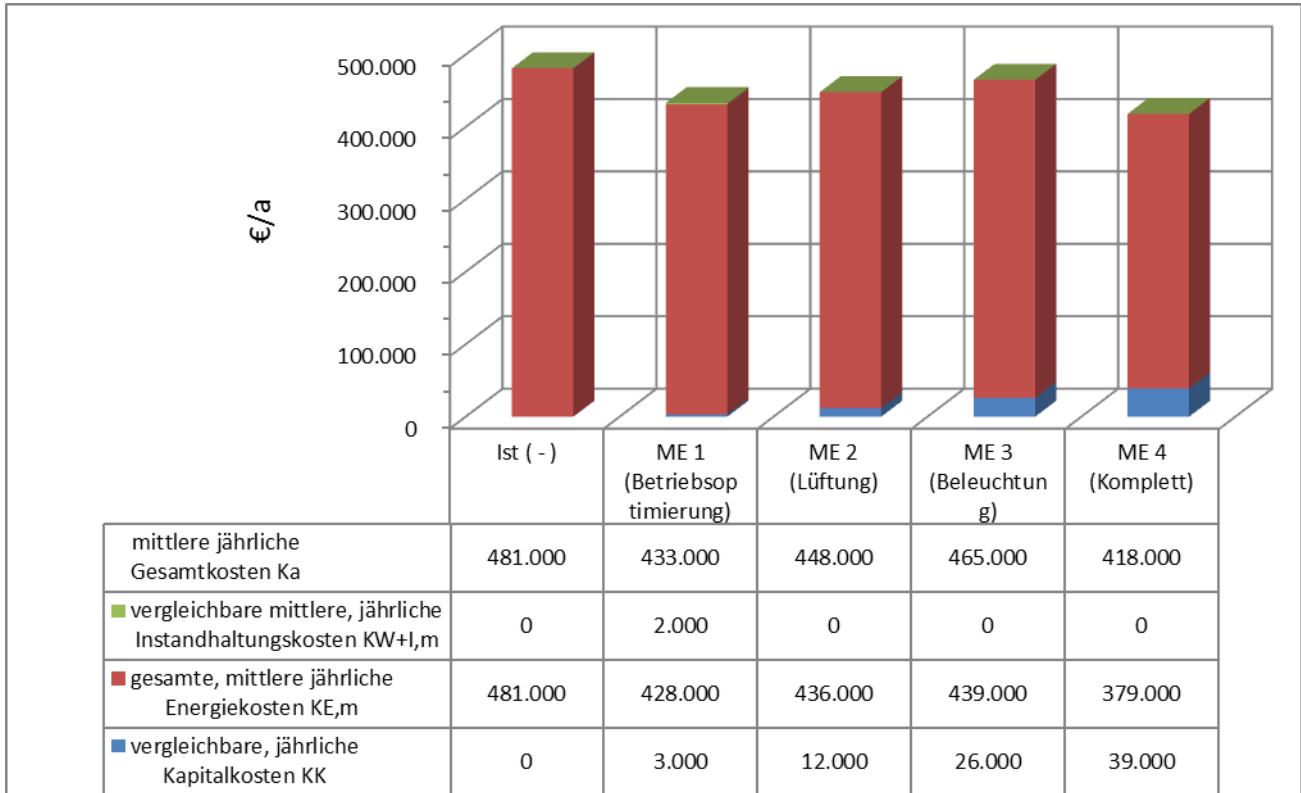
## 6.5 Zusammenfassung und Vergleich

Abschließend werden die Gesamtkosten aller Maßnahmenempfehlungen über einen Betrachtungszeitraum von 15 Jahren dargestellt (s. Abbildung 6-6). Es werden Energiepreissteigerungen von 5,5% pro Jahr angenommen. Der Kalkulationszinssatz beträgt 5,0 %. Die aktuellen Energiepreise liegen bei 16 Ct./kWh<sub>el</sub> bzw. 8 Ct./kWh<sub>th</sub>.

Die zusammenfassende Darstellung der Maßnahmen zeigt, dass in allen Modernisierungsempfehlungen die Gesamtkosten sinken, alle Maßnahmen also wirtschaftlich sind. In der Zusammenfassung der Maßnahmen sinken die Gesamtkosten von 481.000 Euro auf 418.000 Euro, es werden also jährlich ca. 63.000 Euro eingespart.

Zusätzliche Instandhaltungskosten wurden bei der umfassenden Beleuchtungs- und Lüftungssanierung nicht angesetzt. Weil gerade durch eine neue Beleuchtung mit elektronischen Vorschaltgeräten sich die Lebensdauer der Lampen deutlich verlängert, was die Instandhaltungskosten gegenüber dem Ist-Zustand senkt, würde die Wirtschaftlichkeit bei Berücksichtigung dieser Einflüsse positiv beeinflusst werden.

Allgemein wurde zudem nicht berücksichtigt, dass die derzeitige Anlagentechnik bereits ca. 18 Jahre alt ist und vermutlich sowieso in den nächsten Jahren nach und nach ersetzt werden muss. Die dadurch entstehenden Kosten wurden in der Wirtschaftlichkeitsberechnung nicht berücksichtigt. Ein Teil der in Abbildung 6-6 angegebenen Kapitalkosten müsste also auch ohne explizite Umsetzung der Maßnahmenempfehlungen ausgegeben werden.



**Abbildung 6-6 Vergleich der jährlichen Gesamtkosten der verschiedenen Maßnahmenempfehlungen**

## 7 Durchgeführte Messungen

### 7.1 Bestimmung von mittleren Raumtemperaturen und relativen Feuchten

Es wurde stichprobenartig in einem Teil der mit Umluftklimageräten konditionierten Räume die mittlere Raumtemperatur und die relative Luftfeuchtigkeit bestimmt. In diesen Räumen ist entweder ein Sollwert fest voreingestellt, oder der Sollwert wird im Raum eingestellt. Ziel der Messungen war, die mittleren Raumtemperaturen im Heiz- und im Kühlfall zu bestimmen. Ebenso sollte festgestellt werden, in welchen Räumen aktiv be- und entfeuchtet wird.

In Abbildung 7-1 sind die gemessenen Raumtemperaturen (untere Skala), die relative Luftfeuchtigkeit (mittlere Skala) und die Außentemperatur (obere Skala) vom 26.05. bis 04.06.2012 dargestellt. Es zeigt sich, dass in den Räumen 1309, 0311 und 0313 eine Soll-Raumtemperatur von knapp 23 °C relativ konstant gehalten wird. In den Räumen 1112 und 1213 kann ein zeitweiser bzw. gar kein Regeleingriff durch die Klimageräte festgestellt werden.

In Bezug auf die relative Luftfeuchtigkeit kann nur in Raum 0311 eine aktive Be- und Entfeuchtung festgestellt werden, was auch dem Bedarf der Nutzer entspricht. Verwunderlich ist, dass in Raum 1309 die Befeuchtung offenbar nicht funktioniert, da in diesem Raum eigentlich ebenfalls vorgesehen ist Normklima zu erzeugen.



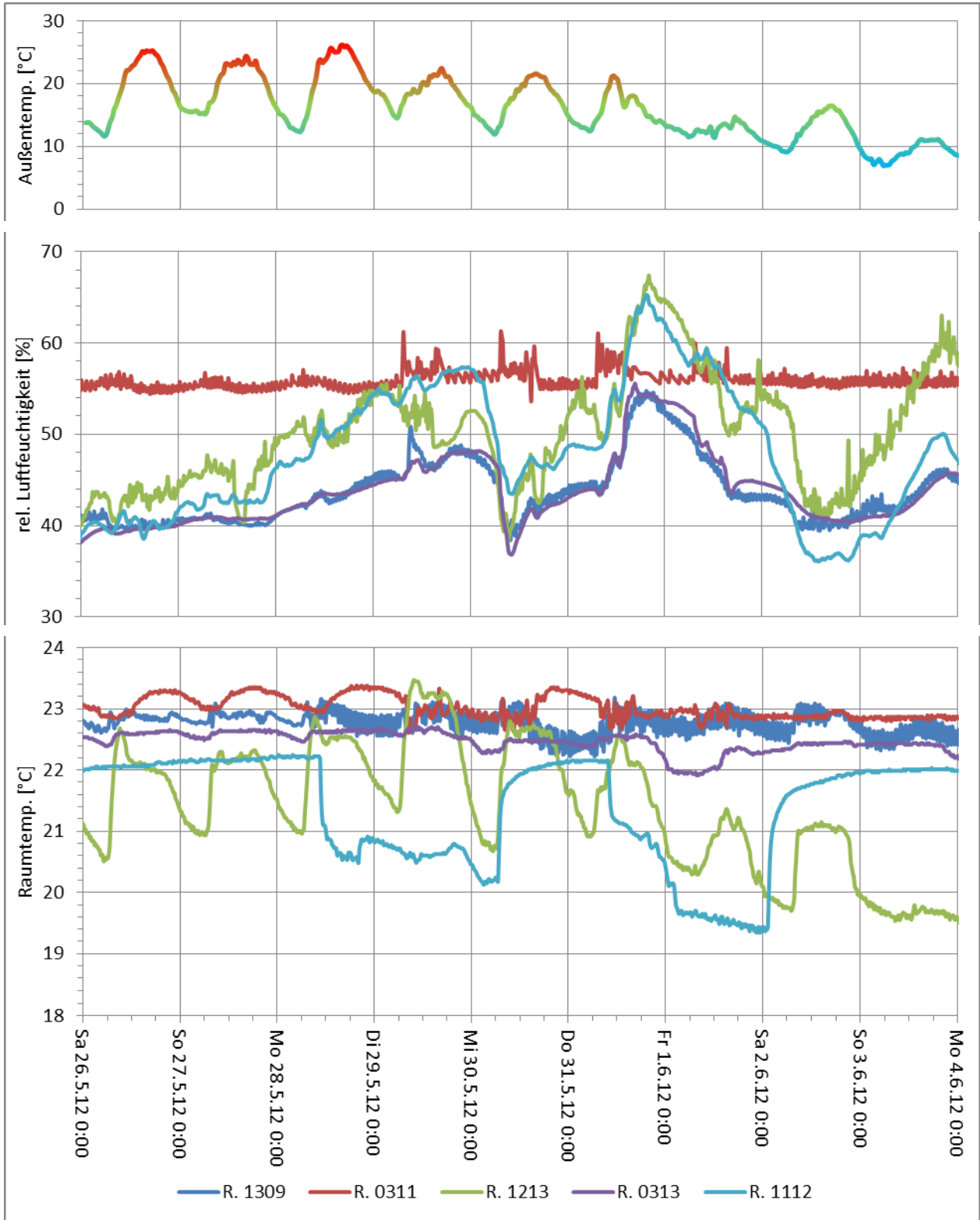


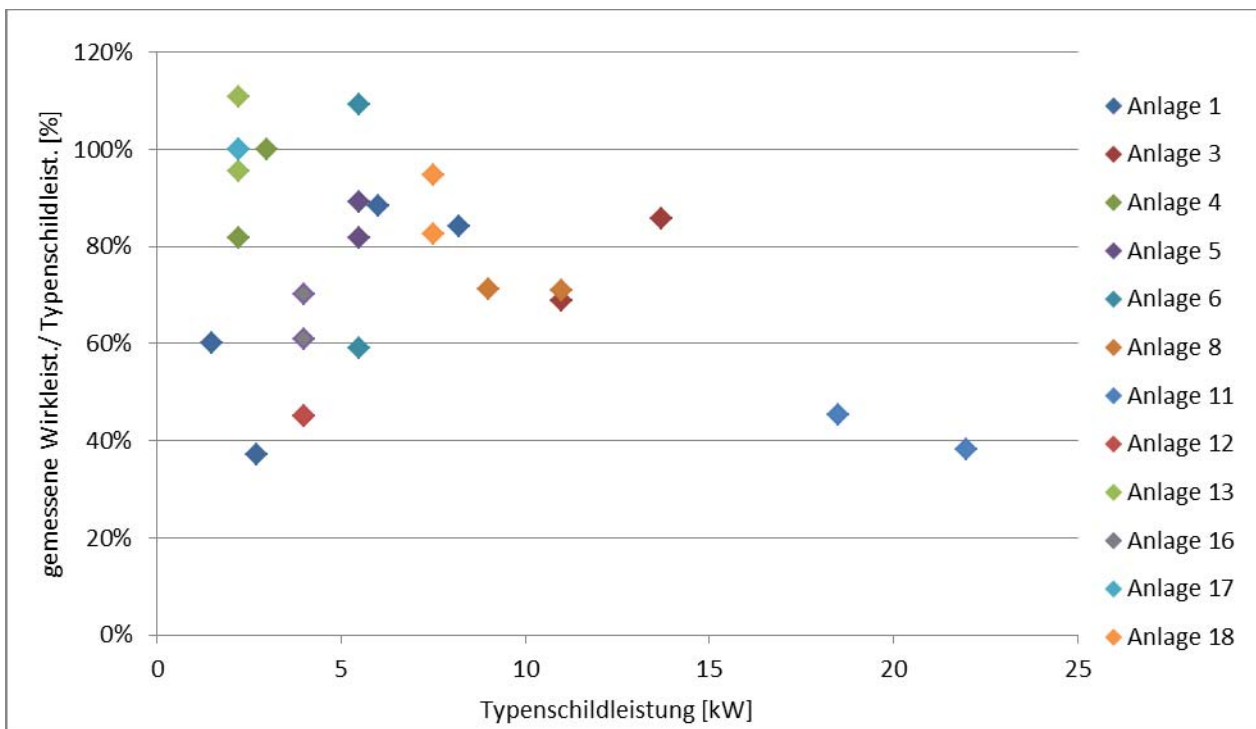
Abbildung 7-1: Temperaturmessungen in ausgewählten Räumen

## 7.2 Leistungsmessung von Lüftungsanlagen

Es wurden an allen zentralen Zu- und Abluftanlagen, die regelmäßig in Betrieb sind, Leistungsmessungen durchgeführt, um deren Energieverbrauch in Kombination mit vorgegebenen Nutzungszeiten bestimmen zu können.

Es handelt sich um Momentanwert-Messungen, bei denen im Fall von volumenstromvariablen Anlagen manuell auf Nennleistung umgeschaltet werden musste. Es ergibt sich dadurch eine Messungenauigkeit, da sich durch die manuelle Umschaltung die nachgeschalteten Volumenstromregler nicht automatisch öffnen. Der resultierende geringere Volumenstrom führt zu einem höheren Druck im Kanalnetz. Die sich dadurch ergebenden Abweichungen von der eigentlichen Nennleistung (bei Nennvolumenstrom und Nenndruckerhöhung) wird aber im Rahmen dieser Untersuchung als tolerabel eingeschätzt.

Abbildung 7-2 zeigt das Ergebnis der Leistungsmessung als prozentualen Anteil der Typenschildleistung über der Typenschildleistung. Es ist erkennbar, dass es eine große Bandbreite in Bezug auf die Abweichung von der Typenschildleistung gibt. Das zeigt, dass der Messaufwand nötig ist, um den Energieverbrauch der Lüftungsanlagen korrekt bestimmen zu können, da die Verwendung von Typenschildleistung zu größeren Fehler führen würde. Eine Verringerung des Messaufwands könnte durch die gemeinsame Messung von Zu- und Abluftventilatoren erreicht werden.



**Abbildung 7-2: Vergleich der gemessenen Wirkleistung mit der Typenschildleistung von Lüftungsanlagen (Zu- und Abluftventilatoren einzeln)**

Ergänzend zu den Momentanwert-Messungen wurde an Lüftungsanlage 11, der größten Anlage des Gebäudes, eine Lastgangmessung vorgenommen (s. Abbildung 7-3). Es zeigt sich, dass die Anlage – mit Ausnahme einer vermutlich von der Gebäudeleittechnik vorgesehenen täglichen „Durchspülung“ – nur auf sehr kleiner Stufe in Betrieb ist. Die Schaltzeiten decken sich gut mit den

vorliegenden Unterlagen der Gebäudeleittechnik. Die Variation der Leistungsaufnahme der Anlage im Betrieb ist sehr gering, was zur Annahme führt, dass nur in wenigen Räumen die Lüftungsanlage über Bedarfsteraster tatsächlich angefordert wird. Der Grundlastanteil wird vermutlich für die Haltung des Vordrucks und für die Versorgung von während der Nutzungszeit dauerhaft versorgten Räumen wie Teeküchen und Abstellräumen benötigt (vgl. Tabelle 9-3).

Abschließend kann hinsichtlich der Nutzungszeiten eine gute Betriebsführung seitens der Betriebstechnik festgehalten werden: Sowohl nachts als auch am Wochenende wird die Anlage abgeschaltet.

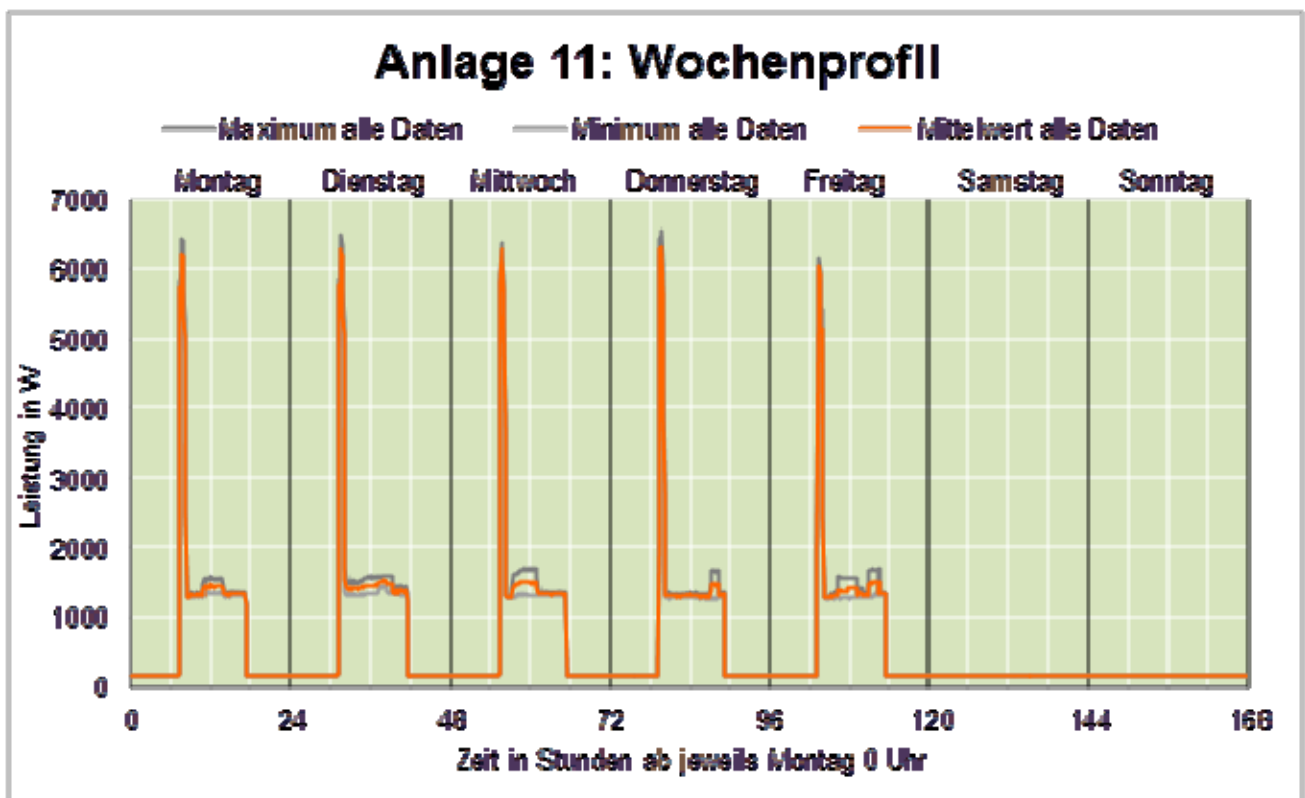


Abbildung 7-3: Wochenprofil der Lüftungsanlage 11 (gemessen vom 06.07.-20.07.2012)

## 8 Anhang: Literatur

- [1] Knissel, Jens und Hörner, Michael: Bewertung des Stromeinsatzes in Nicht-Wohngebäuden mit der Teilkennwertmethode; HLH Bd. 56, Dez. 2005, S. 66-70
- [2] VDI 3807-4: VDI 3807-4:2008-08 Energie- und Wasserverbrauchskennwerte für Gebäude, Teilkennwerte elektrische Energie; Beuth Verlag, Berlin 2008
- [3] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchskennwerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand; Berlin 2009
- [4] Knissel, Jens: Berechnungsgrundlagen des TEK-Tools; Teilbericht im Rahmen des Forschungsprojekts „Teilenergiekennwerte von Nicht-Wohngebäuden“ (FKZ :03274331J) gefördert vom BMWi/PTJ; Darmstadt 2011
- [5] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Ermittlung von spezifischen Kosten energiesparender Bauteil-, Beleuchtungs-, Heizungs- und Klimatechnikausführungen bei Nichtwohngebäuden für die Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen zur EnEV 2012; Berlin 2012
- [6] Finanzministerium Baden-Württemberg: TGA-KO Version 2. Kosten Technischer Gebäudeausrüstung; Stuttgart 2008
- [7] Meier, Erik: Energieeinsparpotenziale in Hochschulgebäuden durch moderne Beleuchtungstechnik; Masterarbeit Universität Kassel; unveröffentlicht, Kassel 2012
- [8] Alsen, Niklas: Verbesserungen in der Wärmeversorgungstechnik am Beispiel eines technischen Institutsgebäudes der Universität Kassel; Masterarbeit Universität Kassel, GRIN Verlag, Norderstedt 2011

## 9 Anhang: Datenerhebung

### 9.1 Vom Eigentümer zur Verfügung gestellte Unterlagen

Beschreibung	Aktualität (- / 0 / +)	Bemerkung
<input checked="" type="checkbox"/> Architektenpläne <ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> bemaßte Grundrisse, 1:200</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> bemaßte Schnitte, 1:200</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Ansichten</li> </ul>	+	
<input type="checkbox"/> Baubeschreibung		
<input checked="" type="checkbox"/> EnEV-Nachweis oder Vergleichbares zum Bauantrag/Baufertigstellung	+	
<input checked="" type="checkbox"/> <ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> Raumbuch, Flächenangaben</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Angaben für Gesamtgebäude nach Kategorien DIN 277</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Angaben geschossweise</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Angaben nach Nutzungszonen</li> </ul>	+	
<input type="checkbox"/> Technische Unterlagen Gebäudehülle <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Bauteilkatalog</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Sonstiges</li> </ul>		Wärmedämmung Dach
<input checked="" type="checkbox"/> Technische Unterlagen Wärmeversorgungsanlagen <ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> Schemata</li> <li><input type="checkbox"/> Anlagen- und Funktionsbeschreibung</li> <li><input type="checkbox"/> Darstellung der Versorgungsbereiche im Grundriss</li> </ul>		
<input type="checkbox"/> Technische Unterlagen Kälteversorgungsanlagen <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Schemata</li> <li><input type="checkbox"/> Anlagen- und Funktionsbeschreibung</li> </ul>		

<input type="checkbox"/> Darstellung der Versorgungsbereiche im Grundriss		
<input type="checkbox"/> Technische Unterlagen RLT-Anlagen <input checked="" type="checkbox"/> Schemata <input checked="" type="checkbox"/> Anlagen- und Funktionsbeschreibung <input type="checkbox"/> Lüftungsgesuch <input type="checkbox"/> Abnahmemessungen <input checked="" type="checkbox"/> Darstellung der Versorgungsbereiche im Grundriss	+	
<input type="checkbox"/> Technische Unterlagen Beleuchtungsanlage <input checked="" type="checkbox"/> Anlagen- und Funktionsbeschreibung <input type="checkbox"/> Darstellung der Versorgungsbereiche im Grundriss	+	Masterarbeit E. Meier 2012 [7]
<input type="checkbox"/> Wartungsunterlagen <input type="checkbox"/> Verträge <input type="checkbox"/> Protokolle		
<input checked="" type="checkbox"/> Sonstige Unterlagen		Diverse Solarcampus-Messergebnisse

## 9.2 Annahmen aufgrund fehlender Daten

Nr.	Größe	Angenommene Ausprägung	Bemerkung
1	Diverse Technik		Liste der Großverbraucher: Nur Verbraucher mit Unterzählern sind berücksichtigt
2	g-Wert	$g = 0,78$	g-Werte der Fenster baualterstypisch
3	Temperaturen	$T = 18 \dots 21 \text{ } ^\circ\text{C}$	Raumsolltemperaturen konnten nur bedingt gemessen werden (Datenaufnahme im Sommer)
4	Betriebsdauer Lüftung		Mittlere Leistung bei volumenstromvariablen Anlagen mit Bedarfstaster: Für die freigegebene Betriebszeit die bei der Begehung vorgefundene Leistung.
5	Klimageräte		Verwendung von Nennleistungen, teilweise Annahme der Betriebsdauer



### 9.3 Grobauslegung der Luftmengen für ME 2: Lüftung

#### Legende:

SUP =Zuluft

ETA = Abluft

Nenn = Nennvolumenströme aus Bestandsplänen

Ist = Eingestellte Volumenströme (ca. 70% der Nennvolumenströme)

Soll = Auslegungsvolumenströme nach DIN EN 13779

Min = Unterer Sollwert der Luftmenge

Max = Oberer Sollwert der Luftmenge

**Tabelle 9-1: Grobauslegung der Räume an Anlage 5 nach DIN EN 13779.** Einheit: m<sup>3</sup>/h. Ersetzt keine Fachplanung.

Raum-Nr.	NGF [m <sup>2</sup> ]	Raumgruppe	SUP Nenn	ETA Nenn	SUP Soll	ETA Soll	Quelle
-1110A	5,7	Sanitäräume	184	184	62	62	EN 13779, Tab. A.6
-1110	6,7	Garderoben	216	216	72	72	EN 13779, Tab. A.6
-1111	9,7	Garderoben	189	189	104	104	EN 13779, Tab. A.6
-1111A	8,3	Sanitäräume	161	161	89	89	EN 13779, Tab. A.6
-2109	7,3	Garderoben	117	117	79	79	EN 13779, Tab. A.6
-2109A	5,7	Sanitäräume	91	91	61	61	EN 13779, Tab. A.6
-2110A	8,2	Sanitäräume	130	130	88	88	EN 13779, Tab. A.6
-2110	10,5	Garderoben	168	168	114	114	EN 13779, Tab. A.6
-2130	68,4	Werkstätten	2000	2000	180	180	EN 13779, Tab. A.11, 4 Pers.
-2112	21,6	Lagerräume	345	345	65	65	EN 13779, Tab. A.9
-2113	100,8	Betriebstechnische Anlagen	452	452	301	301	EN 13779, Tab. A.9
-2114	6,3	Garderoben	154	154	69	69	EN 13779, Tab. A.6
-2114A	6,4	Sanitäräume	156	156	70	70	EN 13779, Tab. A.6
-2115A	9,2	Sanitäräume	222	222	99	99	EN 13779, Tab. A.6
-2115	9,0	Garderoben	218	218	97	97	EN 13779, Tab. A.6
-2116	100,0	Betriebstechnische Anlagen	449	449	299	299	EN 13779, Tab. A.9
-2117	77,8	Lagerräume	349	349	232	232	EN 13779, Tab. A.9

**Tabelle 9-2: Grobauslegung der Räume an Anlage 6 nach DIN EN 13779.** Einheit: m<sup>3</sup>/h. Ersetzt keine Fachplanung.

Raum-Nr.	NGF [m <sup>2</sup> ]	Raumgruppe	SUP/ETA Nenn	SUP/ETA Ist	SUP <sub>min</sub> Soll	SUP <sub>max</sub> Soll	ETA <sub>min</sub> Soll	ETA <sub>max</sub> Soll	Quelle
0109	15,6	Lagerräume	300	210	0	0	47	47	EN 13779, Tab. A.9
0110	10,6	Bürotechnikräume	300	210	45	45	45	45	EN 13779, Tab. A.11, 9m <sup>2</sup> /Pers.
0111	27,0	Lagerräume	500	350	0	0	81	81	EN 13779, Tab. A.9
1109	10,0	Lagerräume	100	70	0	0	30	30	EN 13779, Tab. A.9
1110	10,5	Lagerräume	200	140	0	0	31	31	EN 13779, Tab. A.9

1111	10,9	Lagerräume	200	140	0	0	33	33	EN 13779, Tab. A.9
3119	12,4	Büroräume	300	210	45	45	45	45	EN 13779, Tab. A.11, 9m <sup>2</sup> /Pers.
3118	12,4	Bürotechnikräume	300	210	45	45	45	45	EN 13779, Tab. A.11, 9m <sup>2</sup> /Pers.
3117	18,9	Büroräume	1100	770	90	90	90	90	EN 13779, Tab. A.11, 9m <sup>2</sup> /Pers.
4117	18,6	Technologische Labors	500	350	180	350	180	350	Min: EN 13779, Tab. A.11, 4 Pers.
-1116	21,0	Sonderarbeitsräume	300	210	180	210	180	210	Min: EN 13779, Tab. A.11, 4 Pers.
-1114	60,9	Chemische Labors	1500	1050	180	1050	180	1050	Min: EN 13779, Tab. A.11, 4 Pers.
-1112	8,7	Küchen	100	70	0	0	72	72	EN 13779, Tab. A.6
-1113	12,2	Lagerräume	400	280	37	37	37	37	EN 13779, Tab. A.9
-1118	15,9	Lagerräume	350	245	48	48	48	48	EN 13779, Tab. A.9
-1120	21,4	Lagerräume	350	245	64	64	64	64	EN 13779, Tab. A.9

**Tabelle 9-3: Grobauslegung der Räume an Anlage 11 nach DIN EN 13779.** Einheit: m<sup>3</sup>/h. Ersetzt keine Fachplanung.

Raum-Nr.	NGF [m <sup>2</sup> ]	Raumgruppe	SUP/ETA Nenn	SUP/ETA Ist	SUP <sub>min</sub> Soll	SUP <sub>max</sub> Soll	ETA <sub>min</sub> Soll	ETA <sub>max</sub> Soll	Quelle
0212B	45,9	Werkstätten	1500	1050	180	180	180	180	EN 13779, Tab. A.11, 4 Pers.
0212A	93,2	Werkstätten	1500	1050	180	180	180	180	EN 13779, Tab. A.11, 4 Pers.
0128	142,5	Werkstätten	2600	1820	180	180	180	180	EN 13779, Tab. A.11, 4 Pers.
0129	10,2	Büroräume	100	70	45	45	45	45	EN 13779, Tab. A.11, 9m <sup>2</sup> /Pers
0130	19,3	Werkstätten	150	105	180	180	180	180	EN 13779, Tab. A.11, 4 Pers.
0127	77,8	Technologische Labors	1400	980	180	700	180	700	Min: EN 13779, Tab. A.11, 4 Pers.
0124	10,0	Technologische Labors	250	175	180	125	180	125	Min: EN 13779, Tab. A.11, 4 Pers.
0125	18,3	Technologische Labors	450	315	180	225	180	225	Min: EN 13779, Tab. A.11, 4 Pers.
1133	76,6	Technologische Labors	1400	980	180	700	180	700	Min: EN 13779, Tab. A.11, 4 Pers.
1132	88,6	Technologische Labors	1700	1190	180	850	180	850	Min: EN 13779, Tab. A.11, 4 Pers.
1217	37,5	Technologische Labors	300	210	180	150	180	150	Min: EN 13779, Tab. A.11, 4 Pers.
1216	15,8	Lagerräume	540	378	0	0	47	47	EN 13779, Tab. A.9
2130	19,7	Bürotechnikräume	150	105	90	90	90	90	EN 13779, Tab. A.11, 9m <sup>2</sup> /Pers.
2127	40,3	Großraumbüros	1100	770	180	180	180	180	EN 13779, Tab. A.11, 9m <sup>2</sup> /Pers.
2209	3,3	Abstellräume	200	140	0	0	10	10	EN 13779, Tab. A.9
2208	24,2	Büroräume	450	315	135	135	135	135	EN 13779, Tab. A.11, 9m <sup>2</sup> /Pers.
2207A	29,8	Unterrichtsräume	400	280	453	453	453	453	EN 13779, Tab. A.11, 2 m <sup>2</sup> /Pers.
2207	52,0	Unterrichtsräume	800	560	786	786	786	786	EN 13779, Tab. A.11, 2 m <sup>2</sup> /Pers.
2133	30,1	Großraumbüros	450	315	135	135	135	135	EN 13779, Tab. A.11, 9m <sup>2</sup> /Pers.
2131	19,7	Lagerräume	500	350	0	0	59	59	EN 13779, Tab. A.9
2128	40,3	Großraumbüros	500	350	180	180	180	180	EN 13779, Tab. A.11, 9m <sup>2</sup> /Pers.
3128	24,5	Büroräume	400	280	135	135	135	135	EN 13779, Tab. A.11, 9m <sup>2</sup> /Pers.



3210	3,4	Lagerräume	100	70	0	0	10	10	EN 13779, Tab. A.9
3132	3,3	Lagerräume	100	70	0	0	10	10	EN 13779, Tab. A.9
3129	3,2	Sanitäräume	100	70	0	0	10	10	EN 13779, Tab. A.9
4126	40,6	Bürotechnikräume	300	210	225	225	225	225	EN 13779, Tab. A.11, 9m <sup>2</sup> /Pers.
4133	4,8	Abstellräume	100	70	0	0	14	14	EN 13779, Tab. A.9
4130	3,1	Lagerräume	100	50	0	0	9	9	EN 13779, Tab. A.9
4129	3,4	Küchen	100	50	0	0	72	72	EN 13779, Tab. A.6
4125	29,4	Großraumbüros	1000	500	135	135	135	135	EN 13779, Tab. A.11, 9m <sup>2</sup> /Pers.
4212	3,2	Küchen	100	50	0	0	72	72	EN 13779, Tab. A.6
4209	3,4	Archive, Sammlungs- räume	100	50	0	0	10	10	EN 13779, Tab. A.9

**Tabelle 9-4: Grobauslegung der Räume an Anlage 12 nach DIN EN 13779.** Einheit: m<sup>3</sup>/h. Ersetzt keine Fachplanung.

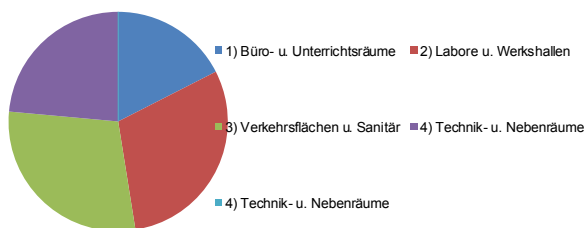
Raum-Nr.	NGF [m <sup>2</sup> ]	Raumgruppe	SUP/ETA Nenn	SUP Soll	ETA Soll	Quelle
0209	19,0	Lagerräume	400	0	57	EN 13779, Tab. A.9
0208	13,3	Büroräume	200	45	45	EN 13779, Tab. A.11, 9m <sup>2</sup> /Pers
0207	15,9	Bürotechnikräume	100	90	90	EN 13779, Tab. A.11, 9m <sup>2</sup> /Pers
0210	26,9	Werkstätten	500	180	180	EN 13779, Tab. A.11, 4 Pers.
0211	10,6	Lagerräume	200	0	32	EN 13779, Tab. A.9
0131	16,2	Lagerräume	300	0	48	EN 13779, Tab. A.9
0132	16,2	Lagerräume	300	0	48	EN 13779, Tab. A.9
0133	9,4	Lagerräume	200	0	28	EN 13779, Tab. A.9
1205	10,2	Lagerräume	400	0	30	EN 13779, Tab. A.9
1206	15,8	Büroräume	300	90	90	EN 13779, Tab. A.11, 9m <sup>2</sup> /Pers
1212	21,6	Büroräume	400	90	90	EN 13779, Tab. A.11, 9m <sup>2</sup> /Pers
1210	10,0	Bürotechnikräume	200	45	45	EN 13779, Tab. A.11, 9m <sup>2</sup> /Pers
1208	15,9	Lagerräume	300	0	48	EN 13779, Tab. A.9

**Tabelle 9-5: Grobauslegung der Räume an Anlage 16 nach DIN EN 13779.** Einheit: m<sup>3</sup>/h. Ersetzt keine Fachplanung.

Raum-Nr.	NGF [m <sup>2</sup> ]	Raumgruppe	SUP/ETA Nenn	SUP/ETA Ist	SUP <sub>min</sub> Soll	SUP <sub>max</sub> Soll	ETA <sub>min</sub> Soll	ETA <sub>max</sub> Soll	Quelle
0312	13,1	Lagerräume	300	210	0	0	39	39	EN 13779, Tab. A.9
0321	19,1	Büroräume	400	280	90	90	90	90	EN 13779, Tab. A.11, 9m <sup>2</sup> /Pers
0319	18,7	Büroräume	1400	980	90	90	90	90	EN 13779, Tab. A.11, 9m <sup>2</sup> /Pers
0322	18,6	Büroräume	400	280	90	90	90	90	EN 13779, Tab. A.11, 9m <sup>2</sup> /Pers
1313	31,8	Großraumbüros	300	210	180	180	180	180	EN 13779, Tab. A.11, 9m <sup>2</sup> /Pers
1316	25,1	Großraumbüros	450	315	135	135	135	135	EN 13779, Tab. A.11, 9m <sup>2</sup> /Pers
1317	18,1	Büroräume	250	175	90	90	90	90	EN 13779, Tab. A.11, 9m <sup>2</sup> /Pers
2326	18,9	Bürotechnikräume	100	70	90	90	90	90	EN 13779, Tab. A.11, 9m <sup>2</sup> /Pers

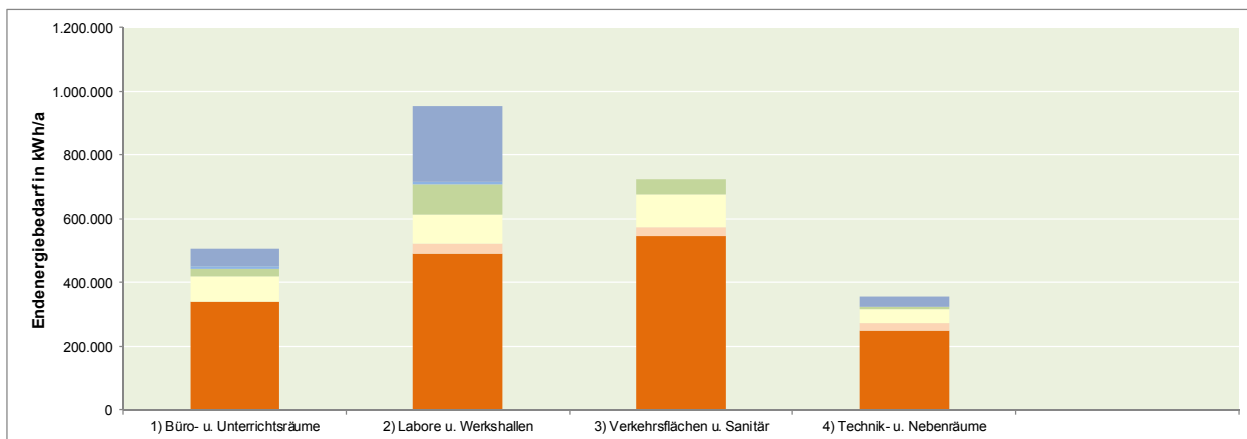
# 10 Anhang: TEK – Bewertung je Nutzungseinheit

## 2.1 Flächen der Nutzungseinheiten



	Fläche m²	Anteil an beh. NGF
1) Büro- u. Unterrichtsräume	3.527	18%
2) Labore u. Werkshallen	6.050	30%
3) Verkehrsflächen u. Sanitär	5.849	29%
4) Technik- u. Nebenräume	4.749	24%
<b>Gesamt</b>	<b>20.175</b>	<b>101%</b>

## 2.2 Endenergiebedarf der Gewerke je Nutzungseinheit



## 2.3 Teilenergiekennwertbewertung je Nutzungseinheit

Bezeichnung	1) Büro- u. Unterrichtsräume		2) Labore u. Werkshallen		3) Verkehrsflächen u. Sanitär		4) Technik- u. Nebenräume		#WERT!			
	Fläche der Nutzungseinheit	TEK-Bew. ert.	PE-Kennw ert kWh/(m²a)	TEK-Bew. ert.	PE-Kennw ert kWh/(m²a)	TEK-Bew. ert.	PE-Kennw ert kWh/(m²a)	TEK-Bew. ert.	PE-Kennw ert kWh/(m²a)	TEK-Bew. ert.	PE-Kennw ert kWh/(m²a)	
Arbeitshilfen	3527 m²	-	15	6050 m²	-	40	5849 m²	-	0	Mittel	7	
Dampf			0			0			0		0	
Kälte		Mittel	3		Sehr gering	1		0			0	
Luftförderung		Gering	7		Sehr gering	16		Hoch	8		Sehr gering	2
Beleuchtung		Mittel	23		Mittel	15		Hoch	17		Gering	9
Warmwasser			0		Sehr gering	5		Mittel	5		Mittel	5
Heizung		Mittel	96		Mittel	81		Mittel	93		Gering	52

Abbildung 10-1: Bewertung je Nutzungseinheit

## **11 Anhang: TEK – Bewertung auf Zonenebene**

### 3.1 Heizung

Nr. und Name	Std.-nutzung	Fläche m <sup>2</sup>	Nutz.- einheit	Ist-Wert Zone (Endenergie)				Vergleichswert - gering		
				TEK-Bewert.	kWh/(m <sup>2</sup> a)	W/m <sup>2</sup>	h/a	kWh/(m <sup>2</sup> a)	W/m <sup>2</sup>	h/a
1) Büros (Fensterlüftung)	02 Gruppenbü	2.287	1	Mittel	111,0	74,0	1.499	30,6	57,6	531
2) Büros (mech. Lüftung, Eb. 2 bis 4)	02 Gruppenbü	385	1	Mittel	95,6	119,7	799	30,6	57,6	531
3) Hörsaal	09 Hörsaal	243	1	Gering	35,7	193,7	184	48,1	300,8	160
4) Duschen und Umkleiden Eb. -2 u. -1	16 WC, Sanitä	93	3	Hoch	267,3	768,9	348	70,7	155,4	455
5) Verkehrsflächen	19 Verkehrsflä	5.339	3	Hoch	95,4	59,7	1.597	32,8	14,5	2.269
6) Labor (mit mech. Lüftung)	22.2 Gewerbe	1.556	2	Hoch	125,5	212,8	590	23,4	108,1	217
7) Labor (mit Fensterlüftung)	22.2 Gewerbe	153	2	Mittel	112,6	88,8	1.269	23,4	108,1	217
	36 Labor		2							
9) Innenliegende Räume (an Anl. 12)	20 Lager, Tecl	528	2	Gering	36,5	70,2	520	40,0	20,4	1.964
10) WCs	16 WC, Sanitä	417	3	Sehr gering	24,9	18,0	1.387	70,7	155,4	455
11) Teeküchen / Abstellräume	15 Küche, Lag	120	4	Gering	56,4	239,2	236	46,0	155,5	296
12) Seminarräume 1. OG	04 Sitzung	237	1	Gering	41,5	134,3	309	49,1	161,0	305
13) Seminarräume 2. OG	04 Sitzung	82	1	Mittel	90,7	268,4	338	49,1	161,0	305
14) Wasserbaulabor	22.2 Gewerbe	1.314	2	Mittel	45,3	92,2	491	23,4	108,1	217
15) Windkanal u. Nebenräume	22.2 Gewerbe	309	4	Gering	23,9	101,8	235	23,4	108,1	217
16) Werkshallen	22.1 Gewerbe	1.713	2	Mittel	48,9	130,5	375	22,2	105,1	211

### 3.1 Heizung

Nr. und Name	Std.-nutzung	Fläche m <sup>2</sup>	Nutz.- einheit	Ist-Wert Zone (Endenergie)				Vergleichswert - gering		
				TEK-Bewert.	kWh/(m <sup>2</sup> a)	W/m <sup>2</sup>	h/a	kWh/(m <sup>2</sup> a)	W/m <sup>2</sup>	h/a
17) Technikräume	20 Lager, Tecl	2.888	4	Gering	60,6	22,8	2.652	40,0	20,4	1.964
	20 Lager, Tecl									
19) Technikräume (Zu- und Abluft)	20 Lager, Tecl	877	4	Gering	50,7	26,5	1.914	40,0	20,4	1.964
20) 5. Obergeschoss	20 Lager, Tecl	253	4							
21) Technikräume (Abluft separat)	20 Lager, Tecl	302	4	Gering	51,4	149,5	344	40,0	20,4	1.964
22) Innenliegende Räume (an Anl. 6)	20 Lager, Tecl	275	2	Gering	51,3	147,3	348	40,0	20,4	1.964
23) Büros (mit mech. Lüftung, Eb. 0 bis 2)	02 Gruppenbü	150	1	Gering	54,4	188,3	289	30,6	57,6	531
24) Labor (mit mech. Lüftung, gekühlt)	36 Labor	466	2	Gering	210,7	597,1	353	151,1	249,7	605
25) Büros (mit mech. Lüftung, gekühlt)	02 Gruppenbü	143	1	Mittel	96,2	119,7	804	30,6	57,6	531
26) Wasserbaulabor (gekühlt)	36 Labor	45	2	Sehr gering	39,5	194,0	204	151,1	249,7	605

**Tabelle 11-1: Bewertung auf Zonenebene - Heizung**

### 3.2 Beleuchtung

Nr. und Name	Std.-nutzung	Fläche m <sup>2</sup>	Nr. Beleuch- tungsanlage	Ist-Wert Zone (Endenergie)				Vergleichswert - gering		
				TEK-Bewert.	kWh/(m <sup>2</sup> a)	W/m <sup>2</sup>	h/a	kWh/(m <sup>2</sup> a)	W/m <sup>2</sup>	h/a
1) Büros (Fensterlüftung)	02 Gruppenbü	2.287	1	Mittel	21,0	23,2	905	14,4	15,4	937
2) Büros (mech. Lüftung, Eb. 2 bis 4)	02 Gruppenbü	385	1	Mittel	21,0	23,2	905	14,4	15,4	937
3) Hörsaal	09 Hörsaal	243	2	Mittel	33,8	22,0	1.531	19,9	11,3	1.766
4) Duschen und Umkleiden Eb. -2 u. -1	16 WC, Sanitä	93	5	Sehr hoch	57,2	13,7	4.160	4,5	9,0	502
5) Verkehrsflächen	19 Verkehrsflä	5.339	3	Hoch	13,6	5,7	2.387	2,0	4,5	445
6) Labor (mit mech. Lüftung)	22.2 Gewerbe	1.556	4	Hoch	18,0	16,6	1.080	10,0	11,5	872
7) Labor (mit Fensterlüftung)	22.2 Gewerbe 36 Labor	153	4	Hoch	17,8	16,6	1.069	10,0	11,5	872
9) Innenliegende Räume (an Anl. 12)	20 Lager, Tecl	528	10	Mittel	0,7	5,4	132	0,5	3,0	178
10) WCs	16 WC, Sanitä	417	5	Sehr hoch	57,2	13,7	4.160	4,5	9,0	502
11) Teeküchen / Abstellräume	15 Küche, Lag	120	6	Gering	58,9	9,0	6.552	50,4	12,2	4.135
12) Seminarräume 1. OG	04 Sitzung	237	8	Mittel	33,5	19,4	1.729	16,2	15,6	1.043
13) Seminarräume 2. OG	04 Sitzung	82	8	Mittel	24,7	19,4	1.276	14,8	15,6	952
14) Wasserbaulabor	22.2 Gewerbe	1.314	9	Sehr gering	17,8	10,9	1.642	24,1	11,5	2.093
15) Windkanal u. Nebenräume	22.2 Gewerbe	309	9	Sehr gering	81,1	10,9	7.469	109,7	11,5	9.524
16) Werkshallen	22.1 Gewerbe	1.713	9	Hoch	15,8	10,9	1.458	9,1	8,1	1.124

3.2 Beleuchtung										
Nr. und Name	Std.-nutzung	Fläche m <sup>2</sup>	Nr. Beleuch- tungsanlage	Ist-Wert Zone (Endenergie)				Vergleichswert - gering		
				TEK-Bewert.	kWh/(m <sup>2</sup> a)	W/m <sup>2</sup>	h/a	kWh/(m <sup>2</sup> a)	W/m <sup>2</sup>	h/a
17) Technikräume	20 Lager, Tecl	2.888	7	Gering	2,2	3,7	603	2,5	3,0	811
	20 Lager, Tecl									
19) Technikräume (Zu- und Abluft)	20 Lager, Tecl	877	7	Gering	2,2	3,7	603	2,5	3,0	811
20) 5. Obergeschoss	20 Lager, Tecl	253	7	Gering	2,2	3,7	603	2,5	3,0	811
21) Technikräume (Abluft separat)	20 Lager, Tecl	302	7	Gering	2,2	3,7	603	2,5	3,0	811
22) Innenliegende Räume (an Anl. 6)	20 Lager, Tecl	275	10	Mittel	0,7	5,4	132	0,5	3,0	178
23) Büros (mit mech. Lüftung, Eb. 0 bis 2)	02 Gruppenbü	150	1	Gering	26,7	23,2	1.153	26,7	15,4	1.734
24) Labor (mit mech. Lüftung, gekühlt)	36 Labor	466	4	Hoch	20,2	16,6	1.215	8,4	15,4	545
25) Büros (mit mech. Lüftung, gekühlt)	02 Gruppenbü	143	1	Mittel	21,0	23,2	905	14,4	15,4	937
26) Wasserbaulabor (gekühlt)	36 Labor	45	9	Gering	17,7	10,9	1.632	19,1	15,4	1.243

Tabelle 11-2: Bewertung auf Zonenebene: Beleuchtung

### 3.3 Luftförderung

Nr. und Name	Std.-nutzung	Fläche m <sup>2</sup>	Nr. RLT- anlage	Ist-Wert Zone (Endenergie)				Vergleichswert - gering		
				TEK-Bewert.	kWh/(m <sup>2</sup> a)	W/m <sup>2</sup>	h/a	kWh/(m <sup>2</sup> a)	W/m <sup>2</sup>	h/a
1) Büros (Fensterlüftung)	02 Gruppenbü	2.287	0							
2) Büros (mech. Lüftung, Eb. 2 bis 4)	02 Gruppenbü	385	8	Sehr gering	6,3	9,4	671	10,8	3,3	3.250
3) Hörsaal	09 Hörsaal	243	1	Gering	45,8	50,2	911	45,0	25,0	1.800
4) Duschen und Umkleiden Eb. -2 u. -1	16 WC, Sanitä	93	5	Sehr hoch	446,5	137,0	3.260	40,6	12,5	3.250
5) Verkehrsflächen	19 Verkehrsflä	5.339	0							
6) Labor (mit mech. Lüftung)	22.2 Gewerbe	1.556	8	Sehr gering	15,8	23,5	671	20,8	8,3	2.500
7) Labor (mit Fensterlüftung)	22.2 Gewerbe 36 Labor	153	0							
9) Innenliegende Räume (an Anl. 12)	20 Lager, Tecl	528	12	Sehr hoch	16,0	6,8	2.340	0,4	0,1	3.250
10) WCs	16 WC, Sanitä	417	9	Sehr gering	16,2	3,7	4.368	24,4	7,5	3.250
11) Teeküchen / Abstellräume	15 Küche, Lag	120	8	Sehr gering	23,7	35,3	671	56,3	12,5	4.500
12) Seminarräume 1. OG	04 Sitzung	237	4	Sehr gering	17,9	20,3	884	40,6	12,5	3.250
13) Seminarräume 2. OG	04 Sitzung	82	8	Sehr gering	23,7	35,3	671	40,6	12,5	3.250
14) Wasserbaulabor	22.2 Gewerbe	1.314	3	Sehr gering	1,7	17,3	99	20,8	8,3	2.500
15) Windkanal u. Nebenräume	22.2 Gewerbe	309	2	Sehr gering	1,1	69,6	16	20,8	8,3	2.500
16) Werkshallen	22.1 Gewerbe	1.713	7	Sehr gering	2,2	34,2	65	20,8	8,3	2.500



3.3 Luftförderung										
Nr. und Name	Std.-nutzung	Fläche m <sup>2</sup>	Nr. RLT- anlage	Ist-Wert Zone (Endenergie)				Vergleichswert - gering		
				TEK-Bewert.	kWh/(m <sup>2</sup> a)	W/m <sup>2</sup>	h/a	kWh/(m <sup>2</sup> a)	W/m <sup>2</sup>	h/a
17) Technikräume	20 Lager, Techn	2.888	0							
	20 Lager, Techn									
19) Technikräume (Zu- und Abluft)	20 Lager, Techn	877	5	Sehr hoch	4,5	1,4	3.260	0,4	0,1	3.250
20) 5. Obergeschoss	20 Lager, Techn	253	0							
21) Technikräume (Abluft separat)	20 Lager, Techn	302	13	Gering	0,4	3,4	130	0,4	0,1	3.250
22) Innenliegende Räume (an Anl. 6)	20 Lager, Techn	275	6	Sehr hoch	31,9	33,6	947	0,4	0,1	3.250
23) Büros (mit mech. Lüftung, Eb. 0 bis 2)	02 Gruppenbü	150	10	Mittel	19,0	34,7	549	10,8	3,3	3.250
24) Labor (mit mech. Lüftung, gekühlt)	36 Labor	466	11	Sehr gering	99,7	14,8	6.732	125,0	20,8	6.000
25) Büros (mit mech. Lüftung, gekühlt)	02 Gruppenbü	143	8	Sehr gering	6,3	9,4	671	10,8	3,3	3.250
26) Wasserbaulabor (gekühlt)	36 Labor	45	3	Sehr gering	4,3	43,3	99	125,0	20,8	6.000

Tabelle 11-3: Bewertung auf Zonenebene: Luftförderung

3.4 Kälte										
Nr. und Name	Std.-nutzung	Fläche m <sup>2</sup>	Nutz.- einheit	Ist-Wert Zone (Endenergie)				Vergleichswert - gering		
				TEK-Bewert.	kWh/(m <sup>2</sup> a)	W/m <sup>2</sup>	h/a	kWh/(m <sup>2</sup> a)	W/m <sup>2</sup>	h/a
1) Büros (Fensterlüftung)	02 Gruppenbü	2.287	1							
2) Büros (mech. Lüftung, Eb. 2 bis 4)	02 Gruppenbü	385	1							
3) Hörsaal	09 Hörsaal	243	1	Hoch	32,5	8,0	4.076	16,2	47,6	341
4) Duschen und Umkleiden Eb. -2 u. -1	16 WC, Sanitä	93	3							
5) Verkehrsflächen	19 Verkehrsflä	5.339	3							
6) Labor (mit mech. Lüftung)	22.2 Gewerbe	1.556	2							
7) Labor (mit Fensterlüftung)	22.2 Gewerbe	153	2							
	36 Labor		2							
9) Innenliegende Räume (an Anl. 12)	20 Lager, Techn	528	2							
10) WCs	16 WC, Sanitä	417	3							
11) Teeküchen / Abstellräume	15 Küche, Lag	120	4							
12) Seminarräume 1. OG	04 Sitzung	237	1							
13) Seminarräume 2. OG	04 Sitzung	82	1							
14) Wasserbaulabor	22.2 Gewerbe	1.314	2							
15) Windkanal u. Nebenräume	22.2 Gewerbe	309	4							
16) Werkshallen	22.1 Gewerbe	1.713	2							

3.4 Kälte										
Nr. und Name	Std.-nutzung	Fläche m <sup>2</sup>	Nutz.- einheit	Ist-Wert Zone (Endenergie)				Vergleichswert - gering		
				TEK-Bew.ert.	kWh/(m <sup>2</sup> a)	W/m <sup>2</sup>	h/a	kWh/(m <sup>2</sup> a)	W/m <sup>2</sup>	h/a
17) Technikräume	20 Lager, Tecl	2.888	4							
	20 Lager, Tecl									
19) Technikräume (Zu- und Abluft)	20 Lager, Tecl	877	4							
20) 5. Obergeschoss	20 Lager, Tecl	253	4							
21) Technikräume (Abluft separat)	20 Lager, Tecl	302	4							
22) Innenliegende Räume (an Anl. 6)	20 Lager, Tecl	275	2							
23) Büros (mit mech. Lüftung, Eb. 0 bis 2)	02 Gruppenbü	150	1							
24) Labor (mit mech. Lüftung, gekühlt)	36 Labor	466	2	Sehr gering	5,2	7,4	708	17,9	33,0	542
25) Büros (mit mech. Lüftung, gekühlt)	02 Gruppenbü	143	1	Gering	8,0	17,7	451	6,9	12,7	545
26) Wasserbaulabor (gekühlt)	36 Labor	45	2	Sehr hoch	96,6	20,2	4.778	17,9	33,0	542

Tabelle 11-4: Bewertung auf Zonenebene: Kälte

## 12 Anhang: TEK - Kurzdokumentation

### 2.1 Gebäudebezogene Übersichtsdarstellung - Kennwerte sind auf die beheizte Nettogrundfläche des Gebäudes bezogen

2.1.1 spezifische Hüllfläche				
	Bauteilfläche (BTF)		U-Wert	g_tot
	spezifisch $\text{m}^2_{\text{BTF}}/\text{m}^2_{\text{NGF}}$	absolut $\text{m}^2_{\text{BTF}}$	$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	-
Außenwand	0,332	6.617	0,62	-
Dach	0,222	4.425	0,55	-
Kellerdecke	0,258	5.142	1,04	-
Fenster O,S,W	0,116	2.313	3,10	0,53
Fenster N	0,102	2.042	3,10	0,78
Fenster hor.	0,014	278	3,10	0,31
ges. Gebäude	1,045	20.818	1,26	0,63

2.1.2 Mittlere Nutzungseigenschaften	
spez. hyg. Mindestaußenluftvolumenstrom	3,04 $\text{m}^3/(\text{m}^2\text{h})$
Raumsolltemperatur Heizung	20,1 °C
Raumsolltemperatur Kühlung	24,5 °C
Wartungswert der Beleuchtungsstärke	197 Lux
Nutzungszeit	4.275 h/a
Wärmequellen (Personen und Arbeitshilfen)	105 $\text{Wh}/(\text{m}^2\text{d})$

2.1.5 Luftförderung	Zuluftvent.	Abluftvent.	
Nennvolumenstrom	200.740	176.100	$\text{m}^3/\text{h}$
Dimensionierungsfaktor	233%	204%	
installierte Leistung	111,43	100,54	kW
spezifische Ventilatorleistung	2,00	2,06	$\text{kW}/(\text{m}^3 \text{s})$
Vollbetriebszeit	970	650	h/a
Endenergiebedarf	5,4	3,3	$\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
Primärenergiebedarf	14,1	8,5	$\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

2.1.6 Wärmeerzeugung Heizung und Warmwasser (zentral + dezentral)	
Nutzenergiebedarf	57,7 $\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
davon Warmwasser	0,2 $\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
zusätzliche Verluste Verteilung*	28,0 $\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
Erzeugernutzwärmeabgabe	85,8 $\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
Nennleistung (Soll: Heiz. berechnet * 1,3)	2.610 kW
Dimensionierungsfaktor** (nur zentr. Erz.)	68%
Erzeugeraufwandszahl	1,00 -
Endenergie Wärmeerzeugung	85,8 $\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
davon elektrische Energie	0 %
Primärenergie Wärmeerzeugung	111,5 $\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

Tabelle 12-1: Gebäudebezogene Übersichtsdarstellung (Kennwerte auf Energiebezugsfläche bezogen) – Teil 1



### 2.1.3 Nutzenergie Raum- und RLT-System

	Nutzenergiebedarf Heizung und Kühlung		
	Heizung	Kälte	Dampf
	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> a)		
Raumsystem	52,7	3,4	-
RLT-Anlage	4,8	0,0	0,0
Summe	57	3	-

max. Heiz- bzw. Kühllast	Heizung	Kälte
	W/m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub>	
Raumsystem	69	2
RLT-Anlage	32	0
Summe	101	2

### 2.1.4 Beleuchtung

installierte Leistung	212 kW
mittlere Bew ertungsleistung	10,6 W/m <sup>2</sup>
Vollbetriebszeit	1.496 h/a
Endenergie Beleuchtung	16 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Primärenergie Beleuchtung	41 kWh/(m <sup>2</sup> a)

### 2.1.7 Kälteerzeugung (zentral + dezentral)

Nutzenergiebedarf	3,4 kWh/(m <sup>2</sup> a)
zusätzliche Verluste Übergabe, Verteilung	0,7 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Erzeugernutzkälteabgabe	4,1 kWh/(m <sup>2</sup> a)
maximale thermische Kälteleistung	46 kW
Dimensionierungsfaktor*** (nur zentr. Erz.)	1389%
Jahreskälteleistungszahl	5,20 -
Endenergie Kälteerzeugung	0,8 kWh/(m <sup>2</sup> a)
davon elektrische Energie	100 %
Primärenergieenergie Kälteerzeugung	2,1 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Endenergie Hilfsenergie Kälte	0,6
Teilkennew ert Kalt-/Kühlw asserverteilung	271,0 kWh/(KW a)

### 2.1.8 Dampferzeugung

Endenergiefaktor	0,00 -
Endenergie Dampferzeugung	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Primärenergie Dampferzeugung	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)

\*) Ein Teil der Verteilverluste reduziert den Nutzenergiebedarf Heizung

\*\*) (Nennwärmeleistung Typenschild)/(berechnete max. Heizleistung \* 1,3)

\*\*\*) (Nennkälteleistung Typenschild)/(berechnete max. Kälteleistung \* 1,3)

**Tabelle 12-2: Gebäudebezogene Übersichtsdarstellung (Kennwerte auf Energiebezugsfläche bezogen) – Teil 2**

**2.2.2 Zoneninformationen**

19.922 m <sup>2</sup>		Grundfläche aller beheizten Zonen			Konditionierung ( 1=vorhanden)			Nutzenergie			
897 m <sup>2</sup>		Grundfläche aller gekühlten Zonen									
Zonenname	Standard-nutzung	Zonen-fläche m <sup>2</sup>	RLT-Anlage Nr	Heizung / Warmwasser	mech. Lüftung	Kälte Befeuchtung	Heizung Zone+RLT Erzeuger		Kälte Zone+RLT Erzeuger		
							kWh/(m <sup>2</sup> a) <sup>1</sup>				
Kennwerte bezogen auf die gesamte beheizte bzw . gekühlte Fläche		20.175					57	81	76	92	
Zone 1	Büros (Fensterlüftung)	02 Gruppenbü	2.287		1 /	/	87,1	111,0			
Zone 2	Büros (mech. Lüftung, Eb. 2 t	02 Gruppenbü	385	8	1 /	1 /	71,7	95,6			
Zone 3	Hörsaal	09 Hörsaal	243	1	1 /	1 /	11,8	35,7	137,3	168,9	
Zone 4	Duschen und Umkleiden Eb. -:	16 WC, Sanitär	93	5	1 / 1	1 /	243,4	267,3			
Zone 5	Verkehrsflächen	19 Verkehrsflä	5.339		1 / 1	/	71,5	95,4			
Zone 6	Labor (mit mech. Lüftung)	22.2 Gew erbe	1.556	8	1 / 1	1 /	101,6	125,5			
Zone 7	Labor (mit Fensterlüftung)	22.2 Gew erbe	153		1 / 1	/	88,7	112,6			
Zone 8		36 Labor									
Zone 9	Innenliegende Räume (an Anl.	20 Lager, Techn	528	12	1 / 1	1 /	12,6	36,5			
Zone 10	WCs	16 WC, Sanitär	417	9	1 / 1	1 /	1,0	24,9			
Zone 11	Teeküchen / Abstellräume	15 Küche, Lag	120	8	1 / 1	1 /	32,5	56,4			
Zone 12	Seminarräume 1. OG	04 Sitzung	237	4	1 /	1 /	17,6	41,4			
Zone 13	Seminarräume 2. OG	04 Sitzung	82	8	1 /	1 /	66,8	90,7			
Zone 14	Wasserbaulabor	22.2 Gew erbe	1.314	3	1 / 1	1 /	21,4	45,3			
Zone 15	Windkanal u. Nebenräume	22.2 Gew erbe	309	2	1 / 1	1 /	0,0	23,9			
Zone 16	Werkshallen	22.1 Gew erbe	1.713	7	1 / 1	1 /	25,0	48,9			

1) Flächenbezug: Zonenfläche



2.2.2 Zoneninformationen											
19.922	m²	Grundfläche aller beheizten Zonen			Konditionierung ( 1=vorhanden)			Nutzenergie			
897	m²	Grundfläche aller gekühlten Zonen									
Zonenname	Standard-nutzung	Zonen-fläche m²	RLT-Anlage Nr	Heizung / Warmwasser	mech. Lüftung	Kälte Befeuchtung	Heizung Zone+RLT Erzeuger		Kälte Zone+RLT Erzeuger		
Kennwerte bezogen auf die gesamte beheizte bzw . gekühlte Fläche			20.175				57	81	76	92	
kWh/(m²a) <sup>1</sup>											
Zone 17	Technikräume	20 Lager, Tect	2.888		1 / 1	/	36,7	60,6			
Zone 18		20 Lager, Tect									
Zone 19	Technikräume (Zu- und Abluf	20 Lager, Tect	877	5	1 / 1	1	26,8	50,7			
Zone 20	5. Obergeschoss	20 Lager, Tect	253		/ 1	/					
Zone 21	Technikräume (Abluft separa	20 Lager, Tect	302	13	1 / 1	1	27,5	51,4			
Zone 22	Innenliegende Räume (an Anl.	20 Lager, Tect	275	6	1 / 1	1	27,4	51,3			
Zone 23	Büros (mit mech. Lüftung, Eb.	02 Gruppenbü	150	10	1 /	1	30,5	54,4			
Zone 24	Labor (mit mech. Lüftung, gek	36 Labor	466	11	1 / 1	1	186,8	210,6	22,1	27,2	
Zone 25	Büros (mit mech. Lüftung, gek	02 Gruppenbü	143	8	1 /	1	72,3	96,2	41,6	41,6	
Zone 26	Wasserbaulabor (gekühlt)	36 Labor	45	3	1 / 1	1	15,6	39,5	408,2	502,0	

1) Flächenbezug: Zonenfläche

Tabelle 12-3: Übersicht Zonen

**2.2.3 Beleuchtungsanlagen**

20.175 m <sup>2</sup> Grundfläche aller belichteten Zonen										
Zonenname	Zonenfläche m <sup>2</sup>	Beleuchtungssystem Nr. / Bezeichnung	Beleuchtungsstärke Lux	elektrische Bewertungsleistung			Regelung	Endenergiebedarf kWh/(m <sup>2</sup> a) <sup>1</sup>		
				W/m <sup>2</sup> <sup>1</sup>	W/(m <sup>2</sup> 100lux)	Ermittlung				
Kennwerte bezogen auf die gesamte belichtete Fläche		20.175	267	11	4			16		
Zone 1	Büros (Fensterlüftung)	2.287	1 / Leuchtstofflampe stabförmig mit VVG	500	23,2	4,6	Lamp. zählen	man.	21	
Zone 2	Büros (mech. Lüftung, Eb. 2 t)	385	1 / Leuchtstofflampe stabförmig mit VVG	500	23,2	4,6	Lamp. zählen	man.	21	
Zone 3	Hörsaal	243	2 / Leuchtstofflampe stabförmig mit EVG	500	22,0	4,4	Lamp. zählen	man.	34	
Zone 4	Duschen und Umkleiden Eb. -:	93	5 / Leuchtstofflampe stabförmig mit VVG	200	13,7	6,9	Lamp. zählen	man.	57	
Zone 5	Verkehrsflächen	5.339	3 / Leuchtstofflampe stabförmig mit VVG	100	5,7	5,7	Lamp. zählen	man.	14	
Zone 6	Labor (mit mech. Lüftung)	1.556	4 / Leuchtstofflampe stabförmig mit VVG	500	16,6	3,3	Lamp. zählen	man.	18	
Zone 7	Labor (mit Fensterlüftung)	153	4 / Leuchtstofflampe stabförmig mit VVG	500	16,6	3,3	Lamp. zählen	man.	18	
Zone 8				500						
Zone 9	Innenliegende Räume (an Anl.	528	10 / Leuchtstofflampe stabförmig mit VVG	100	5,4	5,4	Lamp. zählen	man.	1	
Zone 10	WCs	417	5 / Leuchtstofflampe stabförmig mit VVG	200	13,7	6,9	Lamp. zählen	man.	57	
Zone 11	Teeküchen / Abstellräume	120	6 / Leuchtstofflampe stabförmig mit VVG	300	9,0	3,0	Lamp. zählen	man.	59	
Zone 12	Seminarräume 1. OG	237	8 / Leuchtstofflampe stabförmig mit VVG	500	19,4	3,9	Lamp. zählen	man.	34	
Zone 13	Seminarräume 2. OG	82	8 / Leuchtstofflampe stabförmig mit VVG	500	19,4	3,9	Lamp. zählen	man.	25	
Zone 14	Wasserbaulabor	1.314	9 / Leuchtstofflampe stabförmig mit VVG	500	10,9	2,2	Lamp. zählen	man.	18	
Zone 15	Windkanal u. Nebenräume	309	9 / Leuchtstofflampe stabförmig mit VVG	500	10,9	2,2	Lamp. zählen	man.	81	
Zone 16	Werkshallen	1.713	9 / Leuchtstofflampe stabförmig mit VVG	300	10,9	3,6	Lamp. zählen	man.	16	

1) Flächenbezug: Zonenfläche



### 2.2.3 Beleuchtungsanlagen

20.175 m<sup>2</sup> Grundfläche aller belichteten Zonen

Zonenname	Zonen- fläche m <sup>2</sup>	Beleuchtungssystem Nr. / Bezeichnung	Beleuchtungs- stärke Lux	elektrische Bewertungsleistung			Regelung	Endenergie- bedarf kWh/(m <sup>2</sup> a) <sup>1</sup>	
				W/m <sup>2</sup> <sup>1</sup>	W/(m <sup>2</sup> 100lux)	Ermittlung			
Kennwerte bezogen auf die gesamte belichtete Fläche		20.175	267	11	4		16		
Zone 17	Technikräume	2.888	7 / Leuchtstofflampe stabförmig mit VVG	100	3,7	3,7	Lamp. zählen	man.	2
Zone 18				100					
Zone 19	Technikräume (Zu- und Abluf	877	7 / Leuchtstofflampe stabförmig mit VVG	100	3,7	3,7	Lamp. zählen	man.	2
Zone 20	5. Obergeschoss	253	7 / Leuchtstofflampe stabförmig mit VVG	100	3,7	3,7	Lamp. zählen	man.	2
Zone 21	Technikräume (Abluft separat	302	7 / Leuchtstofflampe stabförmig mit VVG	100	3,7	3,7	Lamp. zählen	man.	2
Zone 22	Innenliegende Räume (an Anl.	275	10 / Leuchtstofflampe stabförmig mit VVG	100	5,4	5,4	Lamp. zählen	man.	1
Zone 23	Büros (mit mech. Lüftung, Eb.	150	1 / Leuchtstofflampe stabförmig mit VVG	500	23,2	4,6	Lamp. zählen	man.	27
Zone 24	Labor (mit mech. Lüftung, gek	466	4 / Leuchtstofflampe stabförmig mit VVG	500	16,6	3,3	Lamp. zählen	man.	20
Zone 25	Büros (mit mech. Lüftung, gek	143	1 / Leuchtstofflampe stabförmig mit VVG	500	23,2	4,6	Lamp. zählen	man.	21
Zone 26	Wasserbaulabor (gekühlt)	45	9 / Leuchtstofflampe stabförmig mit VVG	500	10,9	2,2	Lamp. zählen	man.	17,7

1) Flächenbezug: Zonenfläche

**Tabelle 12-4: Übersicht Beleuchtungsanlagen**

**2.2.4 RLT-Anlagen (bezogen auf die jeweils belüftete Fläche)**

Bezeichnung	belüftete Fläche m <sup>2</sup>	Heiz-/ Kühlregister	Befeuchter / WRG <sup>1</sup>	Zuluft		Abluft		Dimensionie- rungsfaktor <sup>2</sup>	spezifische Leistungsauf. kW/(m <sup>3</sup> /s)	Endenergie kWh/(m <sup>2</sup> a) bzw. Anteil	Teilkennwert DIN V 18599 kWh/(m <sup>3</sup> /h a)	
				max. Vol- umenstrom m <sup>3</sup> /h	max. elektr. Leistung kW	max. Vol- umenstrom m <sup>3</sup> /h	max. elektr. Leistung kW					
Kennwerte bez. a. d. ges. mech. bel. Fläche		9.255			200.740	111,43	176.100	100,54	251%	2,02	18,74	4,69
RLT 1	Anlage 1 Hörsaal 0117	243	Heizreg.	kein / W) 0,6	8.500	6,90	8.500	5,30	117%	2,58	6%	8,04
RLT 2	Anlage 2 Windkanal und Nebe	309	Heizreg.	kein / W) 0,75	12.600	12,00	12.600	9,50	408%	3,07	0%	0,15
RLT 3	Anlage 3 Wasserbaulabor u.	1.359	Heizreg.	kein / W) 0,6	20.700	11,00	20.700	13,70	145%	2,15	1%	1,16
RLT 4	Anlage 4 Seminarräume 1. OX	237	Heizreg.	kein / W) 0,6	3.800	3,00	3.800	1,80	107%	2,27	2%	6,84
RLT 5	Technik u. Sanitär	970	Heizreg.	kein / W) 0,6	10.350	6,60	10.350	7,34	678%	2,42	26%	19,27
RLT 6	Anlage 6 Innenzone Eb. -1 bis	275	Heizreg.	kein / W) 0,6	6.700	6,00	6.300	3,25	16242%	2,56	5%	11,39
RLT 7	Werkshallen	1.713	Heizreg.	kein / W) 0,75	40.200	29,30	40.200	29,30	235%	2,62	2%	0,25
RLT 8	Obergeschosse	2.286	Heizreg.	kein / W) 0,6	54.290	24,60	54.290	24,10	262%	1,61	19%	6,82
RLT 9	WCs	417		kein / kein)			6.210	1,55	99%	0,90	4%	0,00
RLT 10	Anlage 16 Innenz. Eb. 0 bis 2	150	Heizreg.	kein / W) 0,6	4.100	2,80	4.100	2,40	683%	2,28	2%	6,72
RLT 11	Umluftklimageräte	466	Heizreg.	kein / W) 0,6	33.750	6,90	3.300		290%	0,67	27%	4,23
RLT 12	Anlage 12 Innenz. Eb. -1 bis 1	528	Heizreg.	kein / W) 0,6	3.800	1,80	3.800	1,80	4798%	1,71	5%	8,46
RLT 13	Technik ohne WRG	302	Heizreg.	kein / kein)	1.950	0,53	1.950	0,50	4305%	0,95	0%	0,63
RLT 14												
RLT 15												

1) Sp-nr = Sprühbefeuchter nicht regelbar; Sp-r = Sprühbefeuchter regelbar; Dmpf = Dampf befeuchter; W = Wärmerückgewinnung; WF = Wärme- und Feuchterückgewinnung

2) Nennvolumenstrom bezogen auf hygienischen Mindestaußenluftbedarf der versorgten Zonen

**Tabelle 12-5: Übersicht RLT-Anlagen**



2.2.5 Dezentrale Wärmeerzeuger (bezogen auf jeweils versorgte Fläche)							
	vers. Fläche m <sup>2</sup>	Leistung kW	Erzeugerauf- wandszahl	Endenergie kWh/(m <sup>2</sup> a) <sup>1</sup>			
Heizung							
Elektrische Direktheizung							
Elektrische Speicherheizung							
Warmwasser							
el. Durchlauferhitzer							
el. Kleinspeicher							
2.2.6 Zentrale Wärmeerzeuger Heizung und Warmwasser (bezogen auf die gesamte von zentralen Wärmeerzeugern beheizte Fläche)							
19.922	m <sup>2</sup>	Grundfläche aller über zentrale Wärmeerzeuger beheizten Zonen					
8.015	m <sup>2</sup>	Grundfläche aller über zentrale Wärmeerzeuger mit Warmwasser versorgten Zonen					
Bezeichnung	Erzeugerart	Baujahr	thermische Nennleistung <sup>2</sup> kW	Erzeugerauf- wandszahl Heizung	Warmwasser	Endenergie kWh/(m <sup>2</sup> a) bzw. Anteil	
Kennwerte bezogen auf die gesamte zentral beheizte Fläche			1.780	1,00	1,00	86	
Wärmeerz. 1	Fernwärmeübergabe	Fernwärme	1994	1780	1,00	1,00	100%
Wärmeerz. 2							

2) Vor Ort ermittelt, d.h. kein Berechnungsergebnis

Tabelle 12-6: Übersicht Wärmeerzeuger

**2.2.7 Dezentrale Kälteerzeuger (bezogen auf jeweils versorgte Fläche)**

	vers. Fläche m <sup>2</sup>	Leistung kW	Erzeugerauf- wandszahl	Endenergie kWh/(m <sup>2</sup> a) <sup>1</sup>
Kompaktklimagerät (Fenster, Wand)				
Split-System - ein/aus				
Split-System - stetig geregelt				
Multi-Split-System - ein/aus				
Multi-Split-System - stetig geregelt				
VRF-System variabler Kühlmassenstrom				

**2.2.8 Zentrale Kälteerzeuger (bezogen gesamte von zentralen Kälteerzeugern gekühlte Fläche)**

897 m <sup>2</sup> Über zentrale Kälteerzeuger gekühlte Fläche								
Bezeichnung	Erzeugerart	Baujahr	thermische Kälteleistung <sup>2</sup> kW	Nennkälte- leistungszahl	mittlerer Teil- lastfaktor	Teilkennwert Kälteerzeugung	Erzeuger- aufwandszahl	Endenergie kWh/(m <sup>2</sup> a) bzw. Anteil
Kennwerte bezogen auf die gesamte zentral gekühlte Fläche		-	828,0	0,00	0,00	0,0	0,00	17,6
Erz. 1	Kompressionskälteanlagen Wassergekühlt - Kolben-/Scrollverdichter - mehrstufig	1994	828,0	4,00	1,30	5,1	0,19	100%
Erz. 2								

2) Vor Ort ermittelt, d.h. kein Berechnungsergebnis

**Tabelle 12-7: Übersicht Kälteerzeuger**